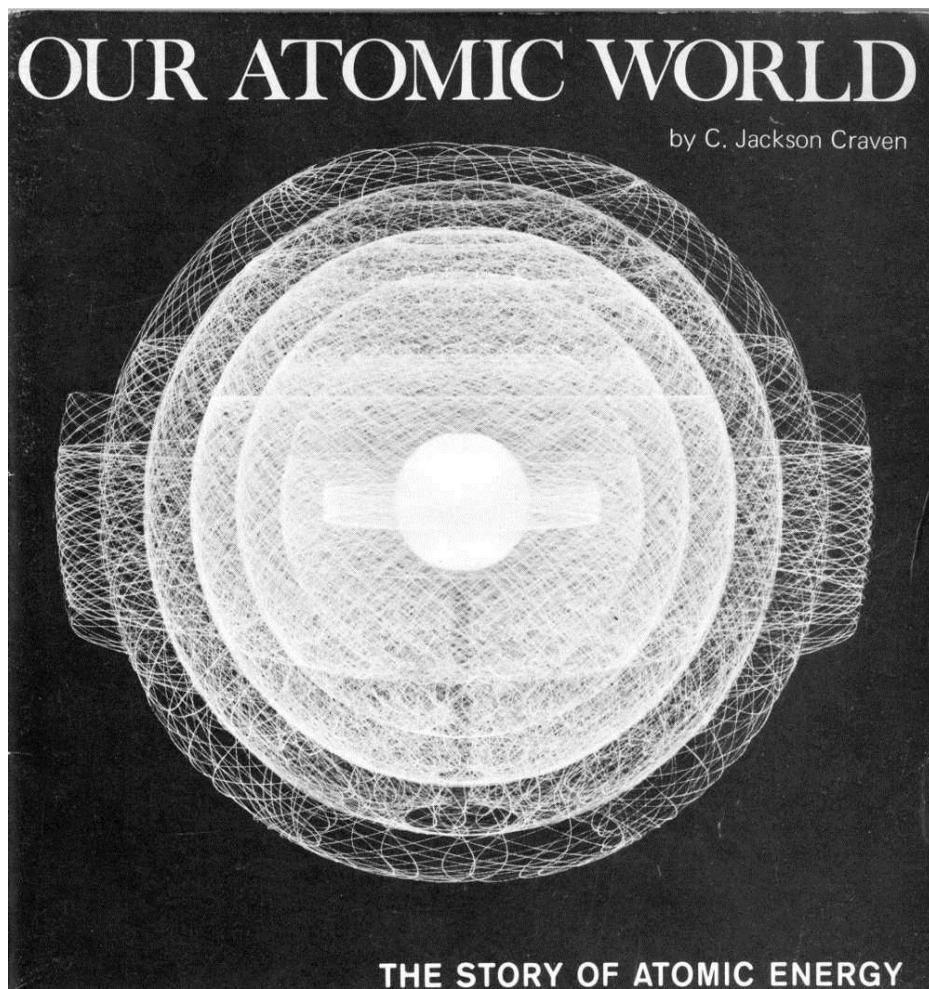


Наш атомный мир: история атомной энергии

К. Джексон Крейвен



U.S. ATOMIC ENERGY COMMISSION
Division of Technical Information

Understanding the Atom Series



Электронная книга проекта "Гутенберг" о нашем атомном мире: история атомной энергии

Эта электронная книга предназначена для использования любым человеком в любой точке Соединенных Штатов и большинства других частей мира бесплатно и практически без каких-либо ограничений. Вы можете скопировать его, раздать или повторно использовать в соответствии с условиями лицензии Project Gutenberg, прилагаемой к этой книге, или онлайн по адресу www.gutenberg.org. Если вы находитесь за пределами Соединенных Штатов, вам необходимо ознакомиться с законами страны, в которой вы находитесь, прежде чем использовать эту электронную книгу.

Название: Наш атомный мир: история атомной энергии

Автор: К. Джексон Крейвен

Дата выхода: 8 сентября 2021 г. [Электронная книга № 66246]

Последнее обновление: 18 октября 2024 г.

Язык: Английский

Авторские права: Стивен Хатчесон и команда онлайн-корректоров по адресу <https://www.pgdp.net>

*** НАЧАЛО ПРОЕКТА ЭЛЕКТРОННОЙ КНИГИ ГУТЕНБЕРГА "НАШ АТОМНЫЙ МИР: ИСТОРИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ" ***

НАШ АТОМНЫЙ МИР

К. Джексон Крейвен

ИСТОРИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ

Отдел технической информации
Комиссии ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ США

Для понимания серии Atom

Понимание атомного ряда

Сегодня ядерная энергия играет жизненно важную роль в жизни каждого мужчины, женщины и ребенка в Соединенных Штатах. В предстоящие годы она будет оказывать все большее влияние на все народы земли. Важно, чтобы все американцы поняли эту жизненно важную силу, если они хотят вдумчиво выполнять свои гражданские обязанности и если они хотят в полной мере осознать бесчисленные преимущества, которые предлагает им ядерная энергия.

Комиссия по атомной энергии Соединенных Штатов предоставляет эту брошюру, чтобы помочь вам достичь такого понимания.



Эдвард Дж. Бруненкант, директор
Отдела технической информации

КОМИССИЯ ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ СОЕДИНЕННЫХ ШТАТОВ

Д-р Гленн Т. Сиборг, Председатель

Джеймс Т. Рейми

Уилфрид Э. Джонсон

Доктор Теос Дж. Томпсон

Доктор Кларенс Э. Ларсон

НАШ АТОМНЫЙ МИР

К. Джексон Крейвен

Содержание

ГРЕКИ ИНТЕРЕСОВАЛИСЬ МАТЕРИЕЙ 1

АТОМНАЯ ТЕОРИЯ ПОДТВЕРЖДЕНА 2

КАТОДНЫЕ ЛУЧИ ПОКАЗЫВАЮТ, ЧТО АТОМЫ СОСТОЯТ ИЗ МЕНЬШИХ ЧАСТЕЙ 3

ОБНАРУЖЕНЫ РАДИОАКТИВНЫЕ АТОМЫ 5

РЕЗЕРФОРД НАХОДИТ АТОМНОЕ ЯДРО 6

ПРОТОН РАСПОЗНАН 8

ОТКРЫТЫ ИЗОТОПЫ 9

МЕЧТА АЛХИМИКОВ СБЫВАЕТСЯ 10

НЕКОТОРЫЕ ЧАСТИЦЫ НЕ ИМЕЮТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЗАРЯДА 13

МАТЕРИЯ - ЭТО ЭНЕРГИЯ; ЭНЕРГИЯ - ЭТО МАТЕРИЯ 14

ЯДРА СОДЕРЖАТ ЭНЕРГИЮ 15

ХРОНОЛОГИЯ 18

ДЕЛЕНИЕ ОБЪЯСНЕНО 20

ЯДЕРНАЯ БОМБА ВЗОРВАНА 23

ЯДЕРНАЯ ЭНЕРГИЯ НЕОБХОДИМА ДЛЯ БУДУЩЕГО 25

У ТЕРМОЯДЕРНОГО СИНТЕЗА ЕСТЬ ПОТЕНЦИАЛ 26

ИЗОТОПЫ ИМЕЮТ МНОЖЕСТВО ПРИМЕНЕНИЙ 29

РАДИОИЗОТОПЫ В ДЕЙСТВИИ 30

КОМИССИЯ ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ 31

НА ПУТИ К МЕЖДУНАРОДНОМУ АТОМУ 33

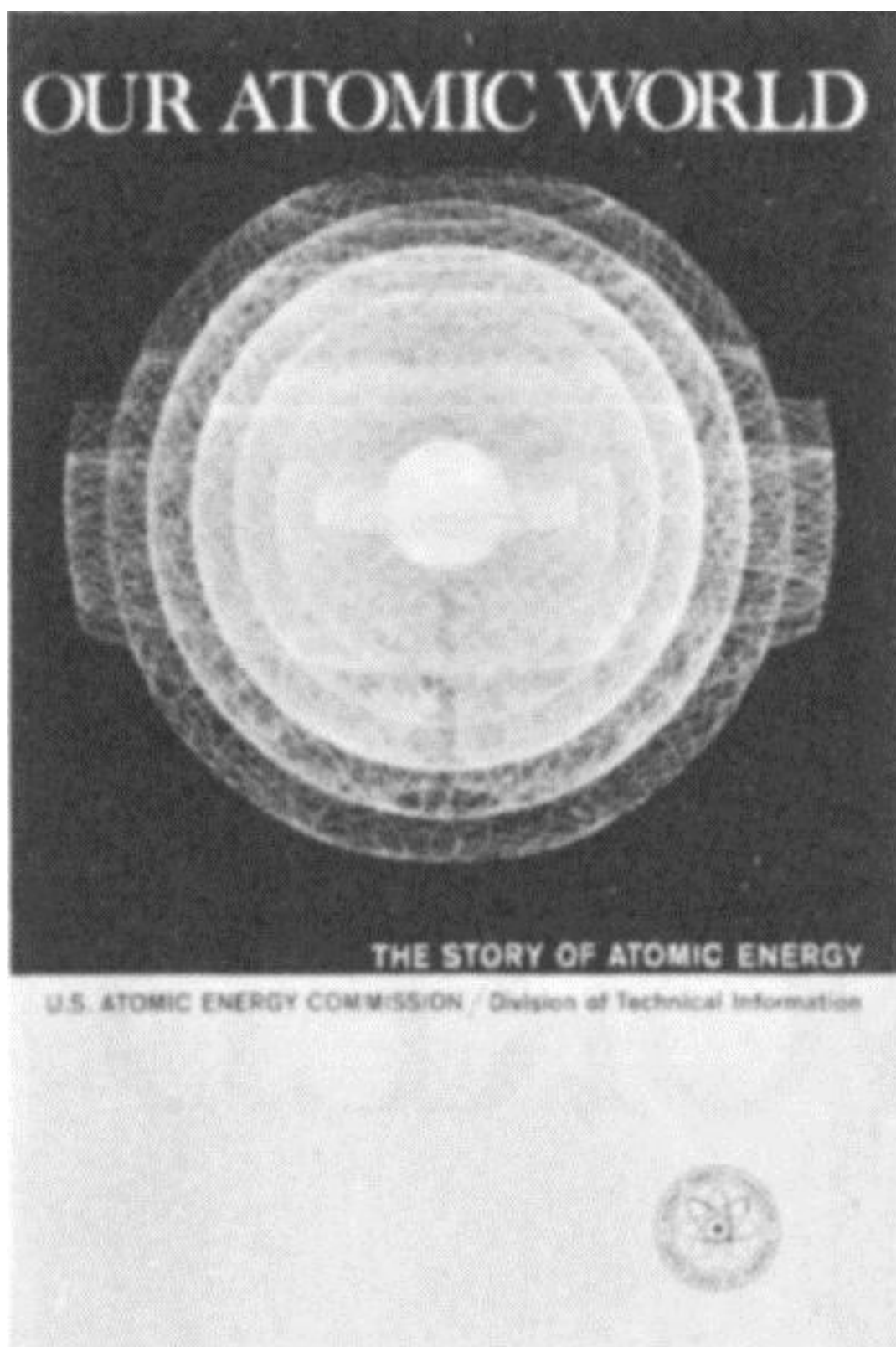
РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА 35

Отдел технической информации

Комиссии по атомной энергии США

Номер каталожной карточки Библиотеки Конгресса: 63-64918

1963; 1964 (ред.)



Обложка представляет собой выдержанную временем фотографию анимированной модели атома урана-235. В центре изображено ядро, сильно увеличенное в размерах. Тонкие линии представляют электроны, вращающиеся вокруг ядра.
Предоставлено корпорацией Union Carbide

К. ДЖЕКСОН КРЕЙВЕН является преподавателем как для учителей, так и для студентов, и сделал активную карьеру, способствуя пониманию атомной энергии в качестве преподавателя Университета Теннесси и сотрудника Института ядерных исследований Ок-Риджа. Он проводил краткосрочные курсы для обучения групп преподавателей естественных наук в средней школе ядерной энергетике и выполнял ключевую роль в учебных заведениях -демонстрационных лекторах, которые посещают средние школы по всей стране.

Доктор Крейвен работал во время Второй мировой войны в Манхэттенском проекте, в рамках которого была создана первая атомная бомба. Он получил степени бакалавра и магистра в Университете Северной Каролины, а позже преподавал физику и математику в Государственном педагогическом колледже Дельта и в университетах Фурмана и Эмори.

Его научные интересы включают инфракрасную спектроскопию, диффузию газов через пористые среды и физические свойства волокон.

НАШ АТОМНЫЙ МИР

К. Джексон Крейвен

История атомной энергии возникла из любопытства людей относительно природы и структуры материи, из которой состоят все материальные объекты.

Греки интересовались Материей

Некоторые философы Древней Греции — Демокрит, например, — были очарованы вопросом: *что такое материя?* Вы можете представить себе, как один из философов говорит своим ученикам:

“Господа, давайте рассмотрим кусочек сыра. С помощью ножа мы можем разрезать его пополам, получив таким образом кусочки поменьше. Затем мы можем разрезать один из этих кусочков поменьше надвое, получив еще более мелкие кусочки. Мы можем *подумать* о том, чтобы повторять этот процесс снова и снова, чтобы получать все меньшие и меньшие кусочки сыра. Теперь можно ли продолжать этот процесс без ограничений, или придет время, когда мы получим самый маленький кусочек сыра? Другими словами, есть ли кусочек настолько маленький, что у нас должно быть по крайней мере столько-то или вообще ничего, без выбора между ними?”

Вероятно, что большинство людей, которые вообще задумывались над этим вопросом в течение следующих двух тысяч лет, ответили на последний вопрос отрицательно. Преобладающее представление состояло в том, что материя является непрерывной, без теоретических ограничений относительно того, насколько маленьким может быть кусочек сыра или что-либо еще.

Эта концепция была с юмором выражена британским математиком Огастесом Де Морганом (1806-1871) в следующих строках:

Убольших блох на спине есть маленькие блохи, которые их кусают,

А у маленьких блох есть блохи поменьше, и так до бесконечности.

Атомная теория подтверждена

Однако де Морган, очевидно, не поспевал за последними достижениями науки, потому что за два года до его рождения Джон Далтон, английский школьный учитель, превратил атомную теорию материи из философской спекуляции в твердо установленный принцип.

Доказательства, убедившие Далтона и многих других современных ученых в реальности атомов, были получены в результате количественного химического анализа.

Дальтон знал, что многие химические вещества можно разделить на два или более более простых вещества. Химические вещества, которые можно было разделить дальше, назывались соединениями; те, которые не могли, назывались элементами. Тщательные эксперименты, проведенные Далтоном и другими учеными, показали, что всякий раз, когда два или более элемента химически соединяются с образованием соединения, относительные количества элементов должны быть тщательно отрегулированы для соответствия определенной пропорции, чтобы после завершения реакции не осталось никаких элементов. Например, если бы водород и кислород были объединены с образованием воды, вес кислорода должен был бы в восемь раз превышать вес водорода; в противном случае осталось бы либо немного водорода, либо немного кислорода.

Эта фундаментальная истина теперь называется Законом определенных пропорций. Другой важный принцип, называемый Законом множественных пропорций, иллюстрируется перекисью водорода, которая состоит из тех же двух элементов, которые содержатся в воде. Однако масса кислорода в перекиси водорода в 16 раз превышает массу водорода или ровно в два раза превышает относительную массу воды.

Эти принципы химического сочетания убедили Дальтона в том, что каждый химический элемент состоит из маленьких, совершенно одинаковых неделимых единиц, называемых атомами, и что каждое химическое соединение также имеет базовые единицы, называемые молекулами, которые нельзя разделить без разделения соединения на его элементы, то есть разрушения его как соединения. Он визуализировал молекулу соединения, образованную в результате объединения отдельных атомов двух или более элементов. Для него было очевидно, что в любой молекуле соединения вес каждого атома составляющего элемента находится в пропорциональном отношении к весу всей молекулы, которая равна весовой доле всего этого элемента в соединении. И хотя Далтон понятия не имел, насколько тяжелым на самом деле является отдельный атом, он мог сказать, во сколько раз он тяжелее или легче атома другого элемента.

Кстати, Дальтон ошибочно полагал, что один атом кислорода в восемь раз тяжелее одного атома водорода, а не в 16 раз тяжелее. Он предположил, что молекула воды - это HO , а не H_2O .

Катодные лучи Показывают, что атомы состоят из более мелких частей

Любопытству к фундаментальной природе материи соответствовало столь же жадное любопытство к фундаментальной природе электричества. До 1850 года было много известно о поведении электрического заряда и электрических токов, протекающих через твердые тела и жидкости. Однако реального прогресса в понимании электрического заряда пришлось подождать до разработки высокоэффективных вакуумных насосов.

Примерно в 1854 году Генрих Гейслер, немецкий стеклодув, разработал усовершенствованный всасывающий насос, а также преуспел в заделке в стеклянную трубку двух проводов, прикрепленных к металлическим электродам внутри трубки. Затем экспериментаторы смогли изучить поток электричества через почти вакуум. Схема трубки Гейслера показана на [рисунке 1](#).

К 1890-м годам стало ясно, что поток электричества через сильно вакуумированную трубку состоит из отрицательного электрического заряда, движущегося с очень высокой скоростью по прямым линиям между запаянными электродами. Поскольку он возникает на отрицательном электроде, или катоде, невидимый поток заряда был назван “катодными лучами”.

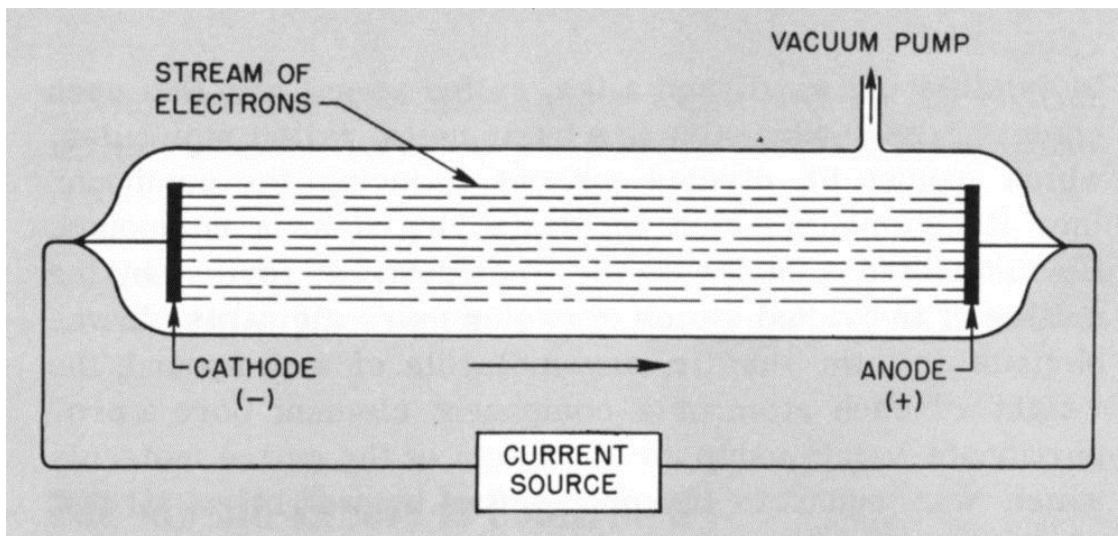


Рисунок 1 Трубка Гейслера.

ИСТОЧНИК ТОКА

КАТОД (-)

ПОТОК ЭЛЕКТРОНОВ

ВАКУУМНЫЙ НАСОС

АНОД (+)

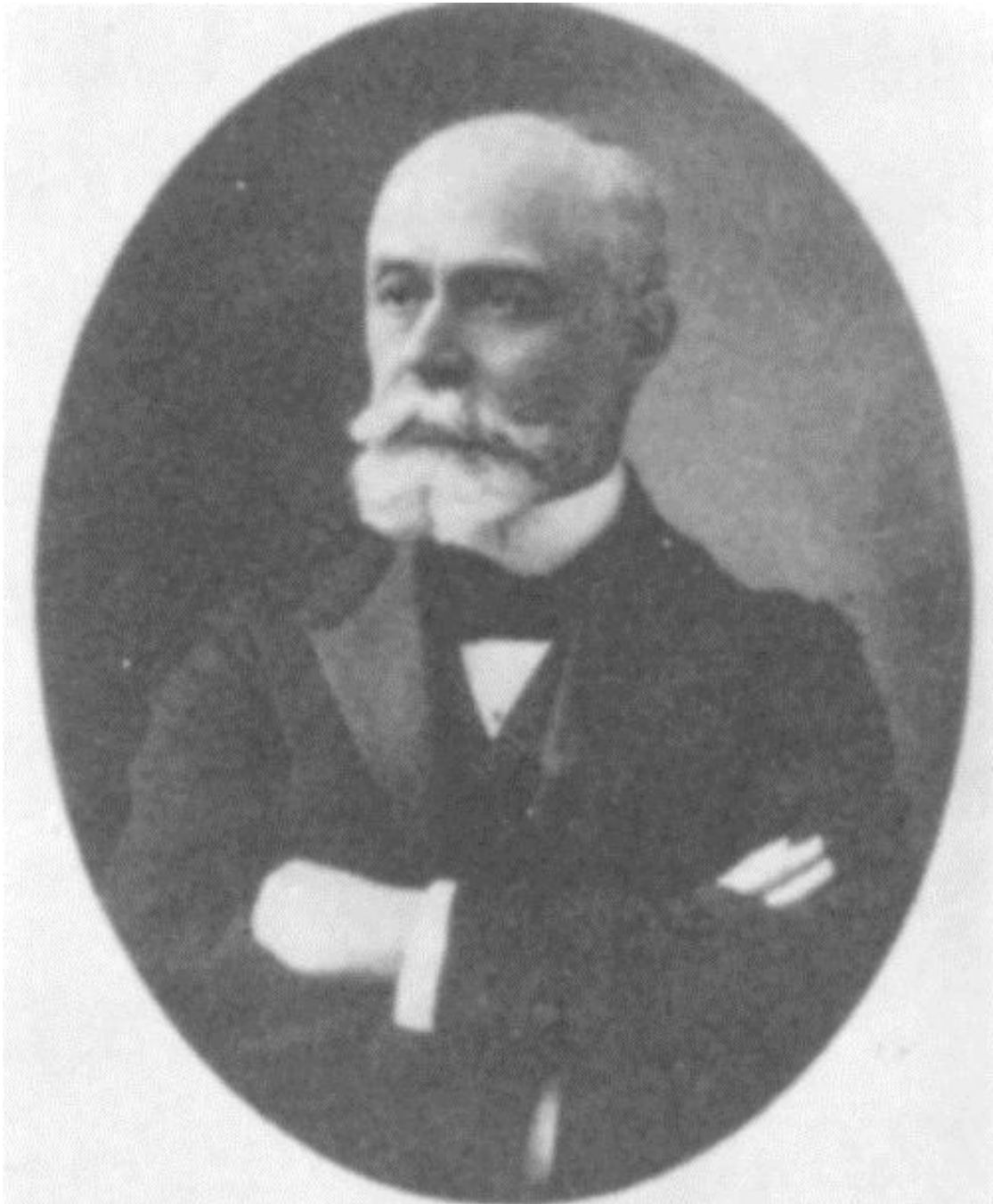
Хотя многие исследователи внесли свой вклад в познание катодных лучей, эксперименты Джозефа Дж. Томсона, британского физика, обычно считаются наиболее поучительными. Томсон сконструировал электронно-лучевую трубку таким образом, чтобы лучи могли отклоняться магнитами и электрически заряженными металлическими пластинами. Применяв некоторые хорошо известные принципы физики, он смог подтвердить впечатление, которого уже придерживались физико-химики, а именно, что электрический заряд, как и материя, “распылен” — поток заряда состоит из роя очень мелких частиц, все одинаковые. Ему также удалось определить, что скорость частиц составляла примерно одну десятую скорости света.

Вероятно, самым значительным результатом Томсона было определение отношения заряда каждой маленькой частицы к ее весу. Он смог сделать это, измерив магнитную силу, необходимую для отклонения потока заряженных частиц. (Вы можете провести этот эксперимент самостоятельно с помощью относительно простого оборудования.) Это

отношение заряда к массе оказалось почти в 2000 раз больше, чем уже известное отношение заряда к массе для положительно заряженного атома водорода, или иона, который до тех пор считался самым легким компонентом вещества. Оставалось определить, был ли заряд или вес причиной разницы. Дальнейшие эксперименты показали, что заряды были примерно одинакового размера в двух случаях. Таким образом, было доказано, что вес атома водорода, самого легкого из всех атомов, почти в 2000 раз превышает вес одной из маленьких отрицательных частиц.

Название “электрон” было дано маленьким отрицательным частицам, идентифицированным Томсоном. Поскольку электроны исходили от катода, было очевидно, что атомы в катоде должны содержать электроны. Томсон рассуждал, что электрический ток в проводе представляет собой поток электронов, последовательно переходящих от атома к атому, и что разница между электрически заряженным атомом и нейтральным атомом заключается в том, что заряженный атом приобрел или потерял один или несколько электронов.

Обнаружены радиоактивные атомы



Анри Беккерель

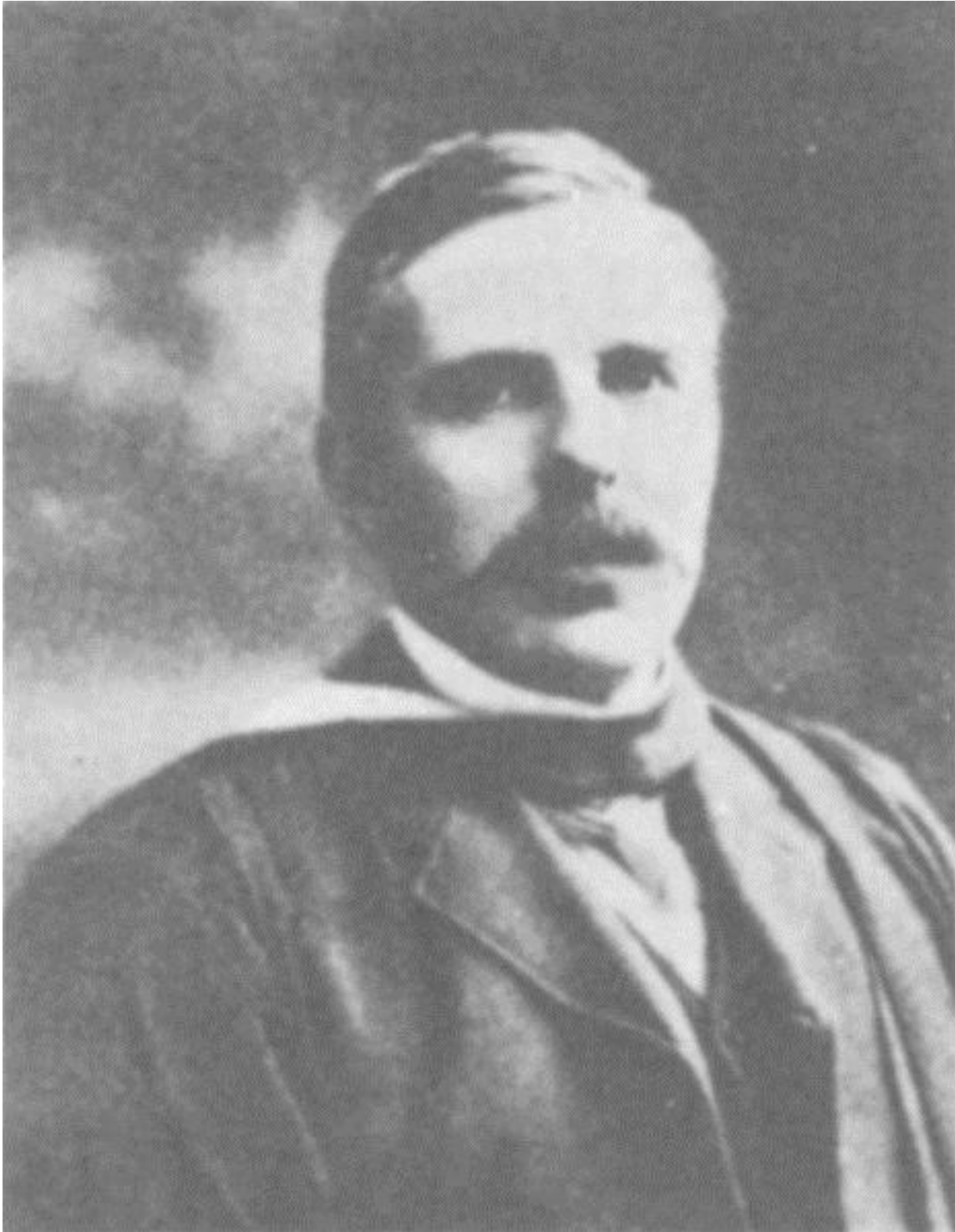
Любезно предоставлено журналом химического образования, "Открытие элементов", Мэри Эльвира Уикс.

В 1896 году французский физик Анри Беккерель исследовал связь между флуоресценцией и рентгеновскими лучами, загадочным видом проникающего излучения, открытым несколькими месяцами ранее немцем Вильгельмом Рентгеном. Различные химические соединения флуоресцируют, или светятся, под воздействием ультрафиолетовых лучей и других видов излучения. Экспериментируя с большим количеством химических веществ, Беккерель

совершенно случайно обнаружил, что соединение, содержащее элемент уран, может, не подвергаясь воздействию какого-либо излучения, затемнять фотопластинку, полностью обернутую плотной черной бумагой.

Хотя в то время никто этого не осознавал, Беккерель обнаружил, что атомы некоторых элементов в случайные моменты времени превращаются в атомы другого элемента, испуская определенные чрезвычайно высокоскоростные заряженные частицы. Атомы, которые могут это делать, считаются радиоактивными, и именно излучение от трансформирующихся атомов урана затемнило фотопластинку Беккереля.

Резерфорд нашел атомное ядро



Эрнест Резерфорд, 1871-1937

Любезно предоставлено Нобелем Штифтельсеном

Мы в большом долгу перед воображением и экспериментальным мастерством британского физика Эрнеста Резерфорда за интерпретацию радиоактивности в терминах структуры атомов.

Резерфорд, родившийся и получивший образование в Новой Зеландии, в 1895 году переехал в Англию, чтобы работать под руководством Томсона в Кембриджском университете. Вскоре после этого Вильгельм Рентген в Германии открыл рентгеновские лучи, Беккерель во Франции открыл радиоактивность, а Томсон доказал существование электрона.

В течение следующих нескольких лет любопытство к фундаментальной природе радиоактивности побудило ряд людей проделать большую работу. Было обнаружено, что элемент торий радиоактивен, а Мария и Пьер Кюри открыли два новых элемента, полоний и радий, которые также оказались радиоактивными. Было обнаружено, что излучение радиоактивных материалов бывает трех видов, называемых альфа-лучами, бета-лучами и гамма-лучами. Альфа-лучи были впервые обнаружены Резерфордом, который позже идентифицировал их как положительно заряженные атомы гелия. Беккерель продемонстрировал, что бета-лучи, подобно катодным лучам, состоят из отрицательно заряженных электронов. Высокопроникающие гамма-лучи были доказаны Резерфордом и Э.Н. да К. Андраде - электромагнитное излучение, подобное рентгеновским лучам.

Резерфорд в сотрудничестве с английским химиком Фредериком Содди навел порядок в хаосе загадочных открытий, установив общее поведение радиоактивных атомов. Он определил, что некоторые встречающиеся в природе атомы с высоким атомным весом могут самопроизвольно испускать альфа-или бета-частицу и тем самым превращаться в новые атомы. Эти новые атомы, также будучи радиоактивными, рано или поздно превращаются во все новые атомы, и так далее. Каждый раз, когда альфа-частица испускается в этой последовательности, новый атом становится легче на вес альфа-частицы, или атома гелия. Процесс распада продолжается от стадии к стадии, пока, наконец, не образуется *стабильный* атом. Конечным продуктом этого процесса "распада" природных радиоактивных элементов является свинец.

Один эксперимент Резерфорда и его коллег оказал глубочайшее влияние на понимание атомной структуры. Что они сделали, так это направили поток альфа-частиц на тонкий кусочек золотой фольги. Результаты были поразительными. Почти все частицы проходили прямо через фольгу, не меняя направления. Однако из немногих частиц, которые отколошетили в новых направлениях, некоторые были отклонены под очень острыми углами. (См. [Рисунок 2.](#))

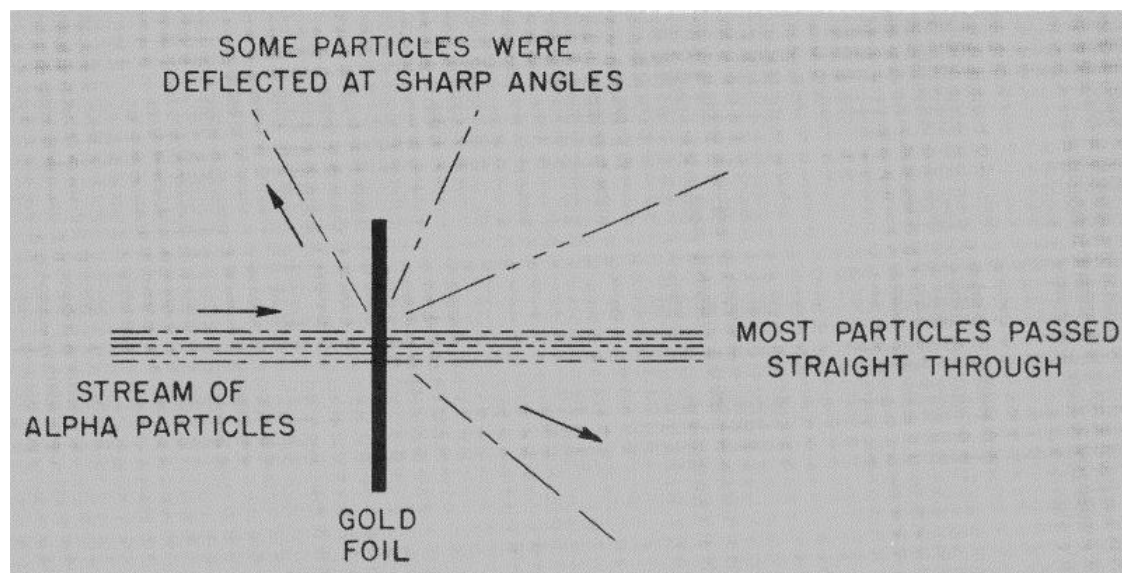


Рисунок 2 Самый известный эксперимент Резерфорда, который привел его к концепции ядра.

В результате этого эксперимента Резерфорд предложил концепцию атома, полностью отличную от той, которая преобладала в то время. Преобладающим было представление, выдвинутое Томсоном, согласно которому атом представлялся как сгусток с положительным электрическим зарядом, в который было вложено, во многом так же, как сливы в пудинг, достаточно электронов, чтобы нейтрализовать положительный заряд. Концепция Резерфорда, которая быстро отбросила модель “сливового пудинга” Томсона, заключалась в том, что весь положительный заряд атома и практически вся его масса сосредоточены в крошечном пространстве в его центре. (Столкновения с этим центром, который впоследствии стал известен как ядро, были ответственны за резкие изменения направления некоторых альфа-частиц.) Пространство, окружающее это ядро, совершенно пусто, за исключением присутствия ряда электронов (79 в случае атома золота), каждый примерно того же размера, что и ядро.

Чтобы проиллюстрировать концепцию Резерфорда, давайте представим себе атом золота, увеличенный до размеров кипы хлопка. Ядро в центре этого большого атома было бы размером с крупинку черного перца. Если бы этот воображаемый тук весил 500 фунтов, маленькое пятнышко в его центре весило бы $499\frac{1}{2}$ фунтов; окружающая вата (соответствующая пустому пространству в концепции Резерфорда), содержащая 79 электронов, весила бы всего четверть фунта. Другими словами, любой предмет, такой как золотое кольцо, каким бы плотным и цельным он нам ни казался, почти полностью состоит из ничего!

Протон Распознан

Открытие Резерфорда вызвало сильное любопытство к природе и возможной структуре этой чрезвычайно маленькой, но чрезвычайно важной части атома. Предполагалось, что положительный заряд, переносимый ядром, должен быть целым числом, кратным небольшой единице, равной по размеру, но противоположной по знаку заряду электрона. Этот вывод был основан на информации о том, что все атомы содержат электроны и что невозмущенный атом электрически нейтрален. Поскольку было известно, что нейтральный атом водорода содержит всего один электрон, оказалось, что заряд ядра водорода должен представлять собой основную единицу положительного заряда, некоторая кратность которой представляла бы заряд любого другого ядра. Несколько направлений исследований объединились, чтобы довольно твердо установить, что ядра атомов, занимающие соседние позиции в периодической таблице элементов, различаются по заряду на эту фундаментальную единицу. Поскольку ядро водорода, по-видимому, играло такую важную роль в формировании зарядов всех других ядер, ему дали название протон от греческого “протос”, что означает “первый”.

Открыты изотопы

На историческом собрании Британской ассоциации содействия развитию науки, состоявшемся в Бирмингеме, Англия, в 1913 году, было сообщено о двух, по-видимому, не связанных направлениях исследований, каждое из которых показало, что некоторые атомные ядра имеют идентичные электрические заряды, но разный вес.

Один доклад был представлен Фредериком Содди, который сотрудничал с Резерфордом в объяснении закономерностей естественной радиоактивности. Содди знал, что ядро

радиоактивного атома теряет как вес, так и положительный заряд, когда выбрасывает альфа-частицу (ядро гелия). С другой стороны, когда ядро испускает бета-частицу (отрицательный электрон), его положительный заряд увеличивается, но его масса практически не меняется. Таким образом, Содди смог вычислить веса и ядерные заряды многих радиоактивных продуктов. В нескольких случаях продукты двух разных видов радиоактивности имели одинаковый ядерный заряд, но разный вес. Поскольку именно положительный заряд, переносимый ядром атома, определяет количество отрицательных электронов, необходимых для завершения атома, ядерный заряд действительно отвечает за внешний вид или химические свойства атома.

Этот вывод был подтвержден безуспешными попытками химического разделения различных радиоактивных продуктов, имеющих одинаковый ядерный заряд, но разный вес. Продукты, возможно, имели совершенно разную скорость радиоактивного распада, но они, по-видимому, состояли из химически идентичных атомов одного и того же химического элемента и, следовательно, находились *в одном и том же месте* в периодической таблице элементов. Содди предложил называть такие атомы *изотопами*, от греческого слова, означающего “одно и то же место”.

На той же встрече Фрэнсис У. Астон, ассистент Томсона, описал, что происходит, когда заряженные атомы или ионы газообразного неона ускоряются в разрядной трубке, подобной электронно-лучевой трубке, в которой Томсон открыл электрон. Быстро движущиеся ионы неона отклонялись магнитом. Поскольку легкие предметы легче отклоняются, чем тяжелые, величина отклонения указывала на вес. Проводя сравнение с таким знакомым газом, как кислород, Томсон и Астон фактически смогли измерить атомный вес неона. К своему удивлению, они обнаружили два вида неона. Примерно девять десятых атомов неона имели атомный вес 20, а остальные - 22.

То, что сделали Томсон и Астон, заключалось в том, чтобы показать, что стабильный элемент неон представляет собой смесь двух изотопов. Устройство, которое может делать то, что делали их аппарат, называется масс-спектрографом. (См. [Рисунок 3](#).) С тех пор приборы этого типа показали, что более трех четвертей стабильных химических элементов представляют собой смеси двух или более стабильных изотопов; фактически, всего таких изотопов насчитывается около 300. Количество известных нестабильных радиоактивных изотопов (радиоизотопов), природных или созданных человеком, превышает 1000 и продолжает расти!

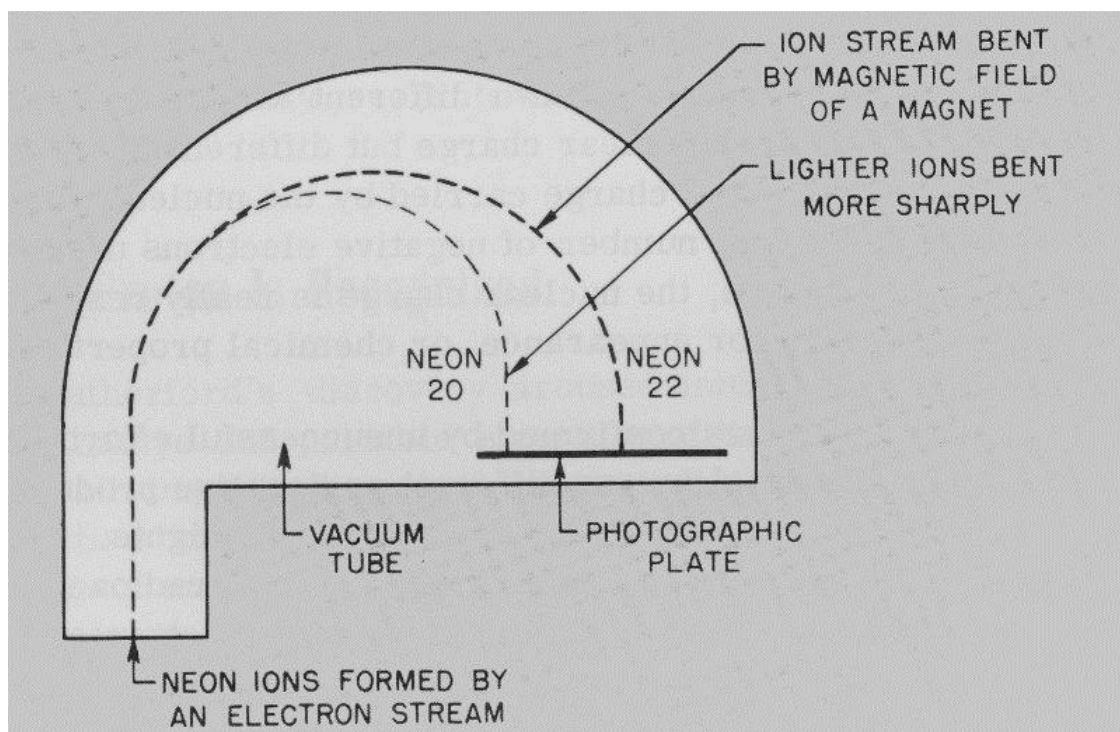


Рисунок 3 Масс-спектрограф, используемый Thomson и Aston для измерения атомной массы неона.

НЕОН 20

НЕОН 22

Мечта алхимиков сбывается

В средние века желание найти способ превращения неблагородного металла, такого как свинец, в золото, было выдающимся стимулом для исследований в области химии. Когда стала ясна важная роль ядра в определении химических свойств атома и была понята естественная трансмутация, сопровождающая радиоактивность, многим людям пришла в голову захватывающая идея, что, возможно, человек вскоре сможет изменять ядро стабильного атома и таким образом намеренно преобразовывать один элемент в другой. В исторической лекции, прочитанной в Вашингтоне, округ Колумбия, в апреле 1914 года, Резерфорд сказал: “Возможно, что ядро атома может быть изменено прямым столкновением ядра с очень быстрыми электронами или атомами гелия (то есть бета- или альфа-частицами), которые выбрасываются из радиоактивного вещества.... При благоприятных условиях эти частицы должны проходить очень близко к ядру и могут либо привести к разрушению ядра, либо к соединению с ним”.



Средневековый алхимик

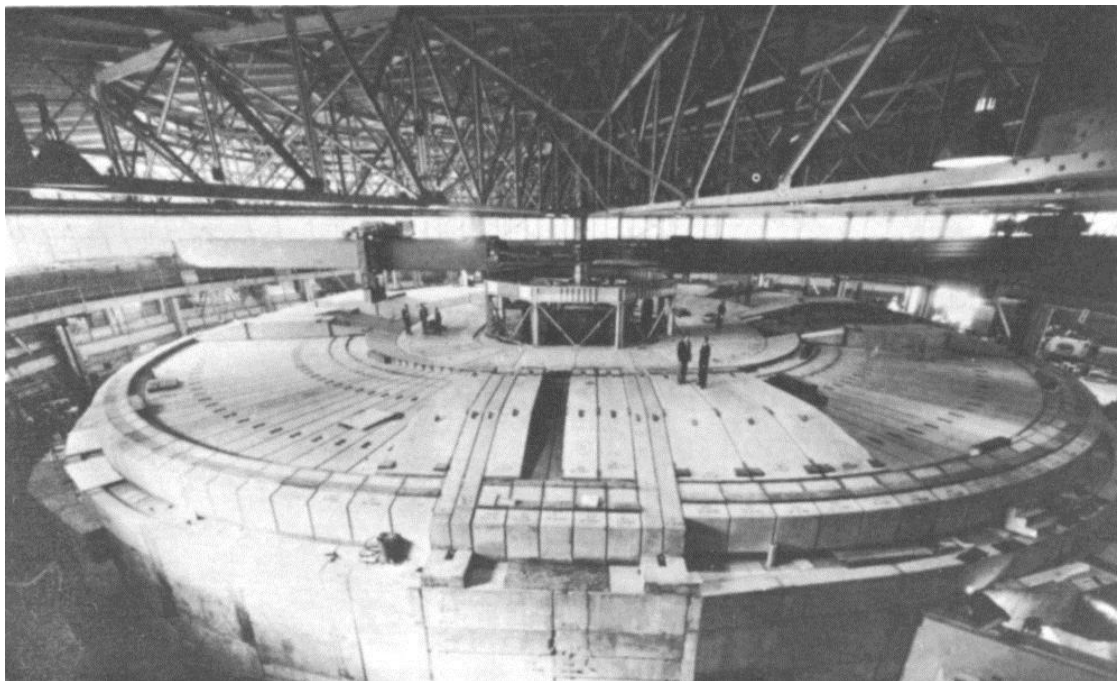
Любезно предоставлено Fisher Scientific Company

Первая мировая война началась вскоре после того, как Резерфорд сделал это заявление, и озабоченность военной работой остановила его эксперименты с ядерными ядрами. Однако в

1919 году он опубликовал статью, описывающую, что происходит, когда альфа-частицы проходят через газообразный азот. Очень быстрые протоны, или ядра водорода, по-видимому, возникают на путях альфа-частиц. Следующее взято из статьи Резерфорда:

“Если это так, мы должны заключить, что атом азота распался под действием мощных сил, возникающих при тесном столкновении со стремительной альфа-частицей, и что высвободившийся атом водорода образовал составную часть ядра азота.... Результаты в целом предполагают, что, если бы альфа-частицы или подобные им снаряды с еще большей энергией были доступны для экспериментов, мы могли бы ожидать разрушения ядерной структуры многих более легких атомов”.

Это предсказание, безусловно, было подтверждено с помощью атомной артиллерии, обеспечиваемой чрезвычайно мощными ускорителями частиц, или “атомными дробилками”.^[1]



Ускоритель Bevatron в Радиационной лаборатории Лоуренса Калифорнийского университета в Беркли, Калифорния, показан после недавней реконструкции, в ходе которой он был заключен в бетонное ограждение.

Предоставлено Радиационной лабораторией Лоуренса

Патрик Блэккетт в Англии и У. Д. Харкинс в Соединенных Штатах вскоре независимо доказали, что во время ядерного события, о котором Резерфорд сообщил в своей статье 1919 года, альфа-частица соединяется с ядром азота и что получившаяся нестабильная комбинация немедленно испускает протон и превращается в один из изотопов кислорода. Это был первый случай преднамеренного превращения одного стабильного химического элемента в другой. С тех пор практически каждый известный элемент был преобразован бомбардировкой. Мечта алхимиков частично осуществилась в том, что ртуть была превращена в золото. Мы говорим “частично осуществлена”, потому что процесс слишком дорогой, чтобы быть экономически выгодным.

Некоторые частицы не имеют электрического заряда

В начале 1920-х годов ряд исследователей, включая Харкинса в Соединенных Штатах, Орма Массона в Австралии и Резерфорда и его помощника Джеймса Чедвика в Англии, серьезно рассматривали возможность существования в природе нейтральной частицы, возможно, образованной в результате очень тесной связи протона и электрона. Однако напряженные попытки получить такие частицы путем объединения протонов и электронов оказались безуспешными.

В течение этих лет широко использовалась новая техника бомбардировки всех видов материи альфа-частицами, чтобы увидеть, что произойдет, и постепенно стало ясно, что в нескольких случаях производился особый вид излучения с высокой проникающей способностью. В 1932 году Чедвику удалось показать, что специфическое излучение должно состоять из потока частиц, каждая из которых весит примерно столько же, сколько протон, но не имеет электрического заряда.

Название “нейтрон” для возможной нейтральной частицы такого типа было предложено Харкинсом в Соединенных Штатах в 1921 году. В настоящее время существует много доказательств того, что нейтрон сам по себе является фундаментальной частицей и что его не следует рассматривать просто как частицу, образованную в результате очень тесной связи между протоном и электроном.

Новой частице, открытой Чедвиком, было суждено сыграть совершенно неожиданную роль не только в истории атомной науки, но и в судьбах наций. Это сразу же устарело от предыдущей концепции ядра, которая представляла его как скопление протонов, примерно половина из которых была нейтрализована электронами, скопившимися в ядре. Сейчас считается, что ядро содержит только протоны и нейтроны.

Ядерщики также приветствовали нейтрон как практически идеальный вид пули. В отличие от заряженных альфа-частиц, незаряженные нейтроны могут совершенно беспрепятственно приближаться к заряженному ядру. Ни один контейнер физически не может вместить рой свободных нейтронов; они просачиваются прямо сквозь его стенки.

Материя - это Энергия; Энергия - это материя

До сих пор в рассказе о любопытстве человека к фундаментальной природе и структуре материи подчеркивалось развитие идей о *структуре*. Теперь мы кратко рассмотрим событие, которое сильно повлияло на наши представления о фундаментальной *природе* материи.

В 1887 году появились отчеты об известном исследовании, часто называемом экспериментом Майкельсона-Морли, целью которого было определение скорости движения Земли в абсолютном пространстве. Совершенно неожиданные результаты эксперимента оказали огромное влияние на концепции пространства и времени. Здесь мы остановимся только на одном результате эксперимента.

В 1905 году молодой студент-физик немецкого происхождения по имени Альберт Эйнштейн, работавший патентным экспертом в Швейцарии, опубликовал три статьи, каждая из которых оказала глубокое влияние на другую область физики.

Одна из статей была посвящена некоторым странным рассуждениям о пространстве и времени, которые начали интересовать его, когда он изучал эксперимент Майкельсона-Морли. Содержание статьи теперь называется Специальной теорией относительности. В этой статье содержится несколько предсказаний, которые казались невероятными среднему физику того времени. Однако эти предсказания уже давно доказали свою справедливость.



Albert Einstein in 1905.

Предоставлено Лотте Джейкоби, Хиллсборо, Нью-Гэмпшир

Одно из предсказаний Эйнштейна касалось эквивалентности вещества и энергии. До 1905 года *материя* рассматривалась как нечто, обладающее массой или инерцией; *энергия*, с другой

стороны, рассматривалась как способность выполнять работу. Считалось, что эти два понятия так же отличаются друг от друга, как, скажем, квадратный ярд отличается от часа. Теория Эйнштейна, однако, подразумевает, что материя и энергия - это просто два разных проявления одной и той же фундаментальной физической реальности, и что каждое из них может быть преобразовано в другое в соответствии со знаменитым уравнением:

$$E = MC^2$$

где

E = количество энергии,

M = количество вещества, и

C = скорость света в вакууме.

Ядра содержат Энергию

В историю атома необходимо включить еще одну информацию, прежде чем станет ясно, почему некоторые люди начали осознавать в 1920-х годах, что атомные ядра содержат огромные запасы энергии, которые однажды могут произвести революцию в цивилизации. Этот последний пункт имеет отношение к ядерному явлению, известному как фракция упаковки.

Поскольку любое ядро состоит из определенного количества протонов и нейтронов, представляется логичным, что общий вес ядра можно определить путем сложения индивидуальных весов входящих в него частиц. Однако, когда стали доступны масс-спектрографы достаточно высокой точности, было обнаружено, что в случае ядерных масс целое не равно сумме его частей! Все ядра (кроме водорода) весят меньше суммы весов входящих в них частиц.

Например, атомный вес протона равен 1,00812, а нейтрона - 1,00893. (Это относительные веса, основанные на международно признанной шкале.) Тогда казалось бы, что ядро гелия, содержащее два протона и два нейтрона, должно иметь атомный вес $2 \times 1,00812$ плюс $2 \times 1,00893$ или 4,0341. На самом деле атомный вес гелия, измеренный масс-спектрографом, составляет всего 4,0039. (См. [Рисунок 4.](#))

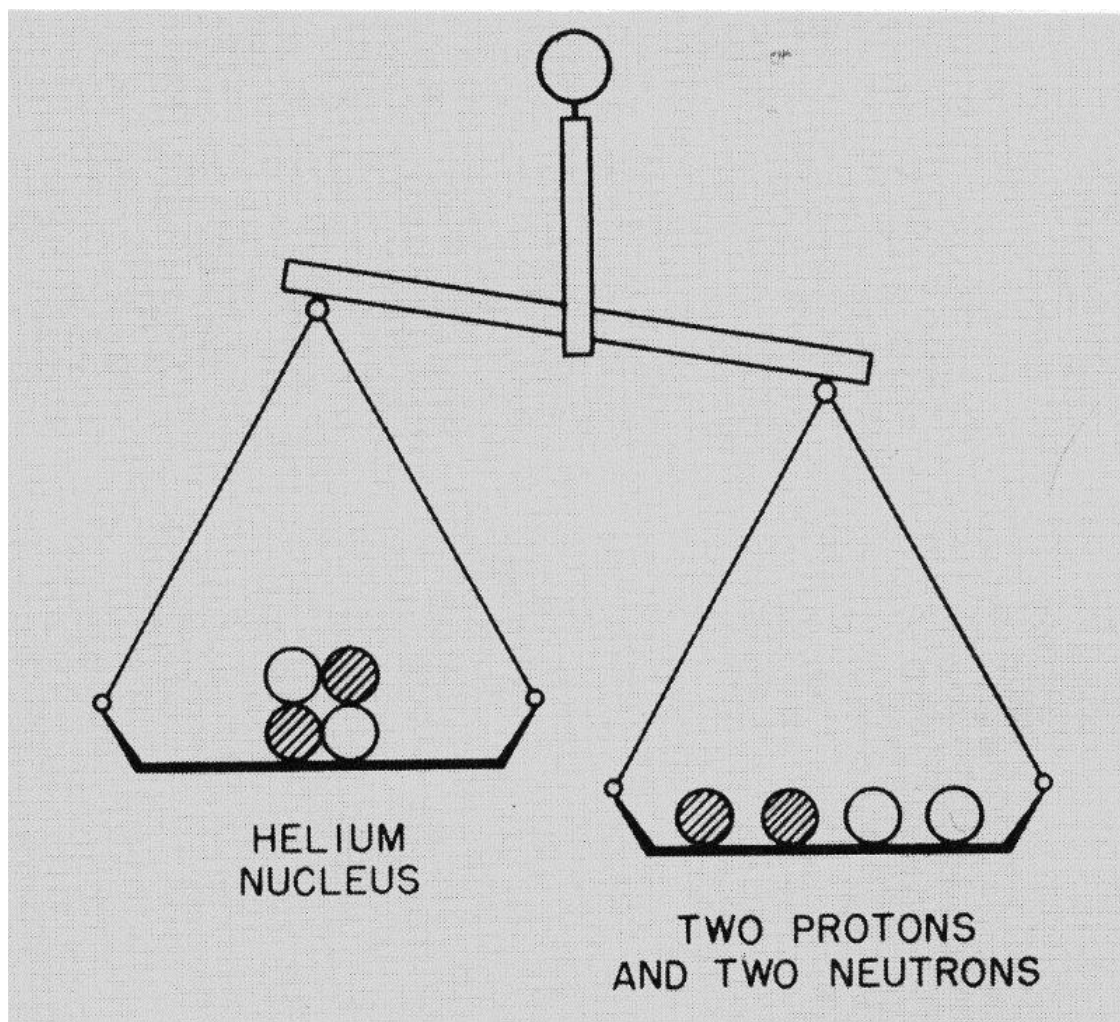


Рисунок 4 *Случай, когда целое не равно сумме его частей. Два протона и два нейтрона заметно тяжелее ядра гелия, которое также состоит из двух протонов и двух нейтронов. Разница заключается в энергии.*

ЯДРО ГЕЛИЯ

ДВА ПРОТОНА И ДВА НЕЙТРОНА

Что происходит с недостающим атомным весом 0,0302? Физики теперь понимают, что, как постулируется в формуле Эйнштейна, он должен быть преобразован в энергию! Превращение происходит, когда протоны и нейтроны объединяются в ядро гелия под действием мощных ядерных сил между ними.

Когда недостающий атомный вес 0,0302 умножается на квадрат скорости света в соответствии с теорией Эйнштейна, оказывается, что он представляет собой огромное количество энергии. Действительно, энергия, выделяющаяся при образовании ядра гелия из двух протонов и двух нейтронов, оказывается в семь миллионов раз больше, чем при соединении атома углерода с молекулой кислорода с образованием молекулы углекислого газа в знакомом процессе горения.

Общее поведение таких потерь атомного веса для атомов во всей периодической таблице было определено еще в 1927 году, в основном благодаря работе Астона, английского ученого, разработавшего первый масс-спектрограф. Его результаты показывают, что, как правило, если два легких ядра объединяются, образуя более тяжелое, новое ядро не весит столько, сколько сумма исходных. Это поведение продолжается вплоть до уровня так называемых “переходных металлов” - железа, никеля и кобальта — в периодической таблице. Но если два ядра тяжелее железа объединяются в одно очень тяжелое ядро, находящееся ближе к концу периодической таблицы (например, уран), новое ядро весит больше, чем сумма двух ядер, из которых оно образовалось.

Таким образом, если бы очень тяжелое ядро можно было разделить на части, высвободилась бы энергия, и сумма весов фрагментов была бы меньше, чем у исходного ядра.

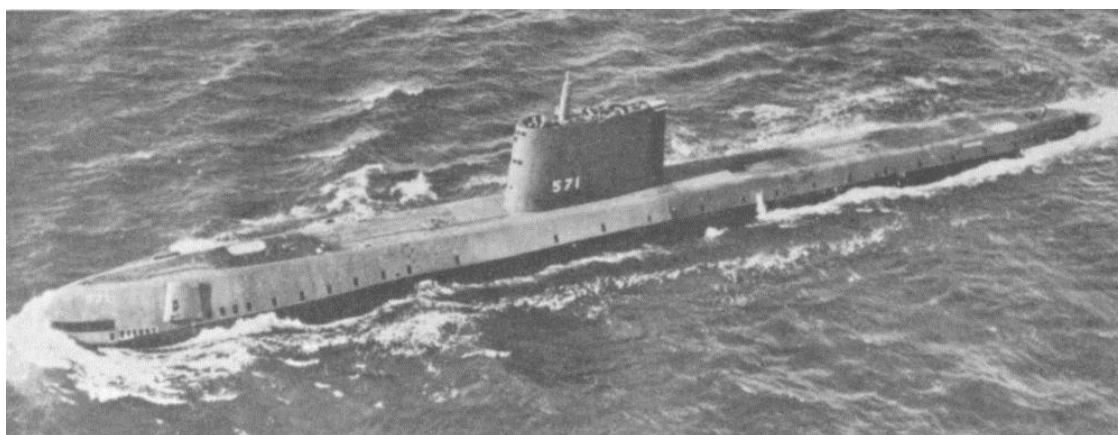
В этих двух типах ядерных реакций небольшое количество вещества фактически исчезло бы! Специальная теория относительности Эйнштейна утверждает, что исчезнувшая материя вновь появилась бы в виде огромного количества энергии.

В конце 1920-х годов ученые начали говорить, что небольшое количество вещества может обеспечить достаточное количество энергии, чтобы провести большой корабль через океан. Как мы знаем, с тех пор это предсказание подтвердилось результатами работы атомных подводных лодок и надводных кораблей.



NS Savannah был первым грузопассажирским судном, приводимым в движение ядерной энергией.

Любезно предоставлено Государственными Морскими линиями



The Наutilus был первой атомной подводной лодкой военно-морского флота.
Предоставлено ВМС США

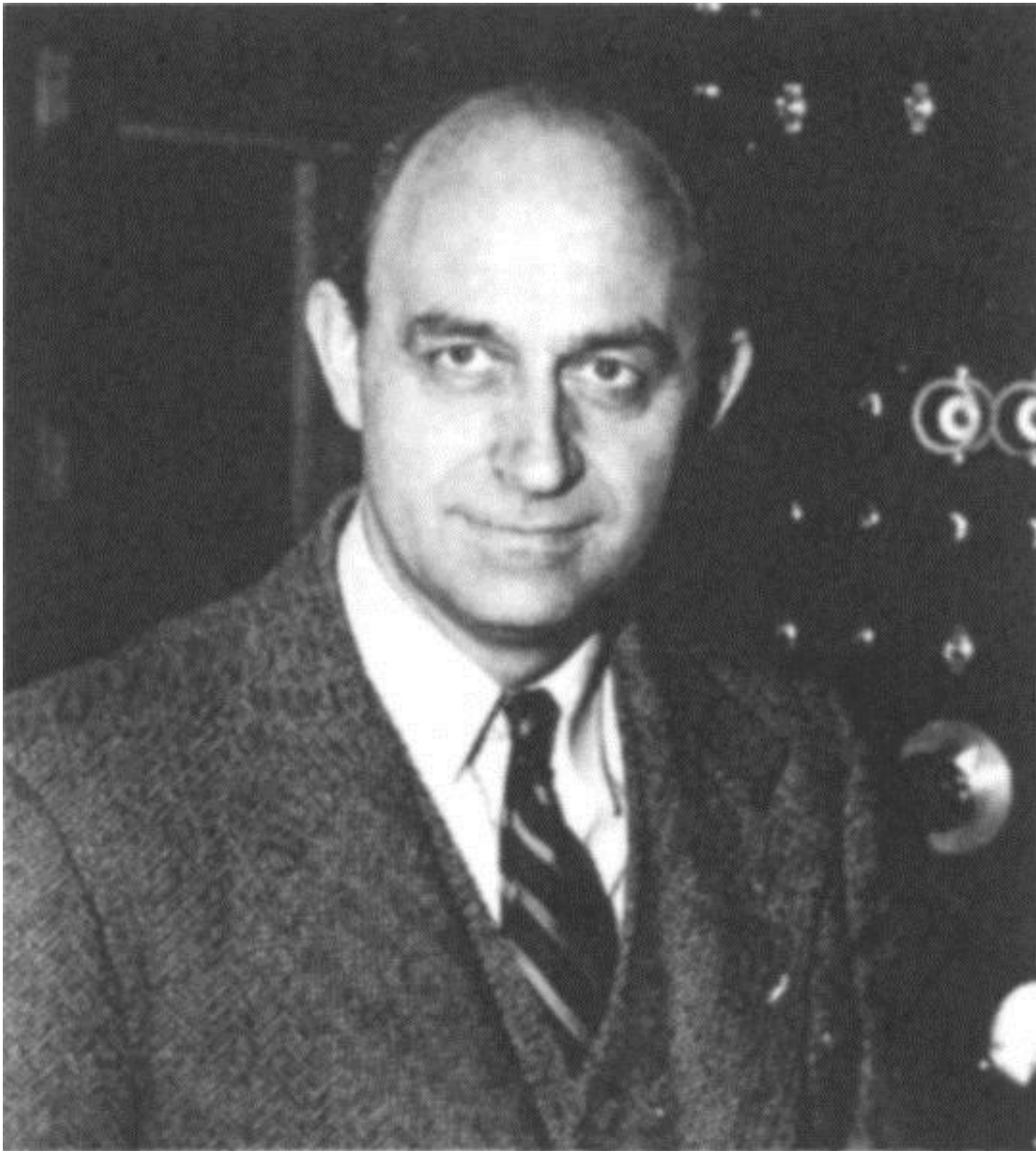
ХРОНОЛОГИЯ

- 1800 г. Дальтон твердо устанавливает атомную теорию вещества.
- 1890- гг. Эксперименты Томсона с катодными лучами доказывают существование электронов.
- 1900 Обнаружено, что атомы содержат отрицательные электроны и положительный электрический заряд. Беккерель обнаруживает нестабильные (радиоактивные) атомы.
- 1905 Эйнштейн постулирует эквивалентность массы и энергии.
- 1911 Резерфорд признает ядро.
- 1919 Резерфорд добивается превращения одного стабильного химического элемента (азота) в другой (кислород).
- 1920- Усовершенствованные масс-спектрографы показывают, что изменения массы ядерной частицы, сопровождающие трансмутацию, объясняют энергию, выделяемую ядром.
- 1925 гг.
- 1932 г. Чедвик идентифицирует нейтроны.
- 1939 г. Открытие деления урана немецкими учеными.
- 1940 г. Открытие нептуния Эдвином М. Макмилланом и Филипом Х. Абельсоном и плутония Гленном Т. Сиборгом и его коллегами из Калифорнийского университета.
- 1942 г. Достижение первой самоподдерживающейся ядерной реакции, Чикагский университет.
- 1945 г. Первое успешное испытание ядерного оружия. атомное устройство близ Аламагордо, штат Нью-Мексико, за которым последовало сбрасывание атомных бомб на Хиросиму и Нагасаки, Япония.
- 1946 Комиссия США по атомной энергии, учрежденная Актом Конгресса.
Первая партия радиоизотопов из Ок-Риджа направляется в больницу Сент-Луиса, штат Миссури.
- 1951 год - первое значительное количество электроэнергии (100 киловатт), произведенной

за счет атомной энергии на испытательной станции в Айдахо.

- 1952 Первый взрыв термоядерной бомбы на атолле Эниветок в Тихом океане.
- 1953 Президент Эйзенхауэр объявляет о программе США "Атом во имя мира" и предлагает создать международное агентство по атомной энергии.
- 1954 Введена в эксплуатацию первая атомная подводная лодка "*Наутилус*".
- 1955 Первая Международная конференция Организации Объединенных Наций по мирному использованию атомной энергии, состоявшаяся в Женеве, Швейцария.
- 1957 Первое коммерческое использование энергии гражданского реактора происходит в Калифорнии.
Атомная электростанция Шиппингпорт в Пенсильвании достигает полной мощности в 60 000 киловатт.
Официально учреждено Международное агентство по атомной энергии.
- 1959 г. Первое торговое судно с ядерной установкой "*Саванна*" спущено на воду в Камдене, штат Нью-Джерси.
Ввод в эксплуатацию первой атомной подводной лодки для запуска ракет "*Поларис*" *Джордж Вашингтон*.
- 1961 Радиоизотопный генератор электроэнергии, выведенный на орбиту, первое использование ядерной энергии в космосе.
- 1962 Вступила в строй атомная электростанция в Антарктике.
- 1963 Президент Кеннеди ратифицировал Ограниченный договор о запрещении ядерных испытаний для Соединенных Штатов 7 октября.
- 1964 Президент Джонсон подписал закон, разрешающий частную собственность на определенные ядерные материалы.

Деление объяснено



Энрико Ферми 1901-1954

Любезно предоставлено Новостями химии и машиностроения

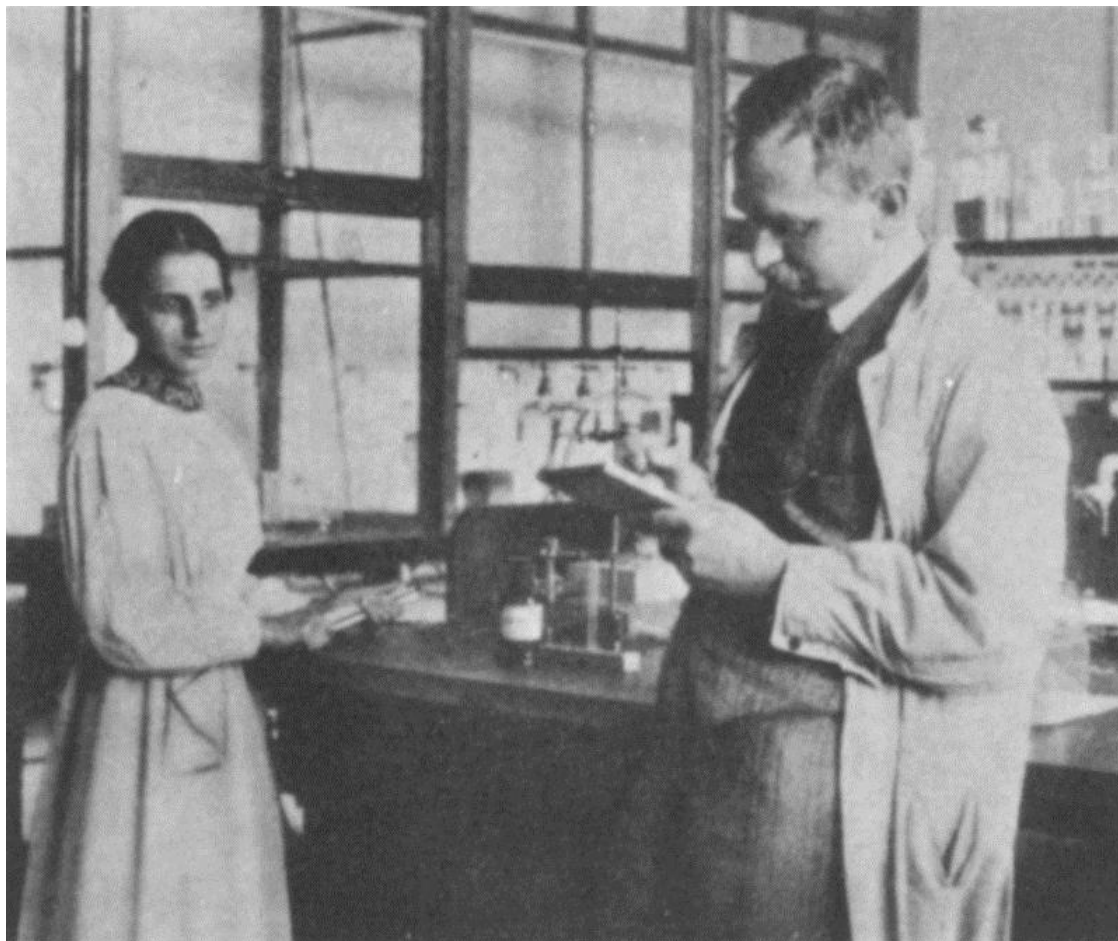
Физики приветствовали нейтрон как пулю, которая может поразить любое ядро, не встречая сопротивления электрического отталкивания. В середине 1930-х годов ряд исследователей, главный из которых итальянский физик Энрико Ферми, подвергли воздействию пучков нейтронов множество различных изотопов химических элементов, чтобы посмотреть, что произойдет.

Обычно происходило то, что бомбардируемые ядра поглощали нейтроны, испускали альфа-, бета- или гамма-лучи и превращались в различные изотопы. Идентификация чрезвычайно

малых количеств образующихся изотопов потребовала развития фантастической новой области химии, известной как радиохимия, или, как выразился один химик, “фантомной химии”.

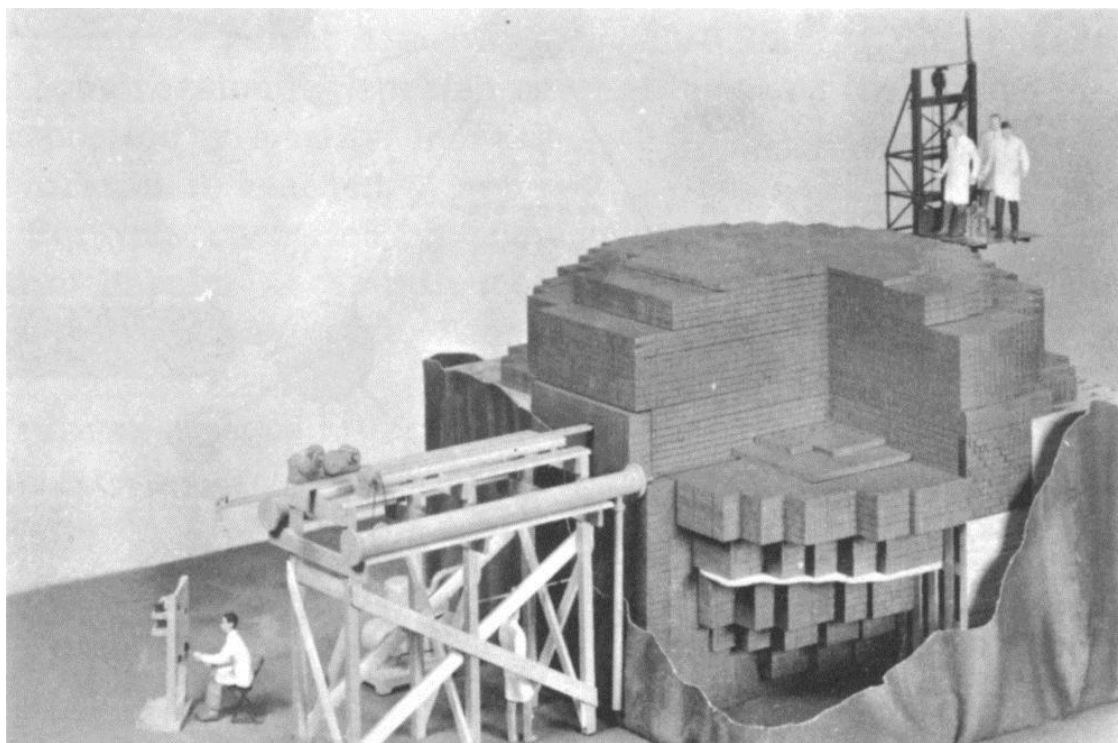
В некоторых случаях за поглощением нейтрона ядром следовало испускание отрицательного электрона (бета-частицы). В результате образовался атом, положительный заряд ядра которого был увеличен на одну единицу и который, следовательно, занимал следующее более высокое место в периодической таблице. Затем Ферми и другие ученые рассмотрели захватывающую возможность проделать то же самое с ураном, последним известным элементом в периодической таблице Менделеева, для создания ранее неизвестных химических элементов. Результаты бомбардировки урана нейтронами оказались чрезвычайно сложными, но в конечном итоге стало ясно, что “трансурановые” элементы (те, что тяжелее урана) действительно могут быть получены таким способом.^[2]

Некоторые из сложных результатов бомбардировки урана нейтронами образовали интригующую головоломку, которая занимала различных исследователей в течение нескольких лет. В 1939 году немецкие химики Отто Хан и Фриц Штрассман, а также физики Лизе Мейтнер и Отто Фриш смогли объявить о решении проблемы. Поглощение нейтрона определенным ядром урана (позже было показано, что это ядро относительно редкого изотопа уран-235) может привести к расщеплению или *делению* ядра на две части с разными весами, которые помещают их где-то около середины периодической таблицы.



Лизе Мейтнер и Отто Хан в своей лаборатории в 1930-е годы.
Предоставлено издательством Addison-Wesley Publishing Co.

Объявление об этом открытии вызвало настоящий ажиотаж среди физиков, потому что ядерный процесс такого рода должен выделять очень большое количество энергии.



Масштабная модель CP-1 (Чикагская свая № 1), использованная Энрико Ферми и его коллегами 2 декабря 1942 года для осуществления первой самоподдерживающейся ядерной реакции. Чередующиеся слои графита, содержащие металлический уран и/или оксид урана, были разделены слоями твердых графитовых блоков. Графит использовался для замедления нейтронов, чтобы увеличить вероятность делений.

Волнение среди физиков стало еще больше, когда стало известно, что этот недавно открытый процесс деления сопровождается высвобождением нескольких свободных нейтронов из расщепляющегося ядра. Каждый новый нейтрон может, при надлежащем замедлении замедляющим веществом, вызвать расщепление другого ядра и высвобождение большего количества энергии и еще большего количества нейтронов, и так далее, как показано на [рисунке 5](#). (Замедлитель необходим, поскольку быстрые, вновь высвобождающиеся нейтроны слишком легко поглощаются ядрами урана-238, которые редко расщепляются.) По-видимому, все, что было необходимо для достижения такого впечатляющего вида цепной реакции, - это собрать достаточное количество урана в одном месте, чтобы высвобождающиеся нейтроны имели хорошие шансы найти другое ядро ^{235}U , прежде чем вырваться из кучи. Количество делящегося материала, необходимое для поддержания цепной реакции, называется “критической массой”. Группа ученых во главе с Ферми добилась первой самоподдерживающейся ядерной реакции 2 декабря 1942 года под трибунами на спортивной площадке Чикагского университета. Эту дату часто называют началом Ядерного века.

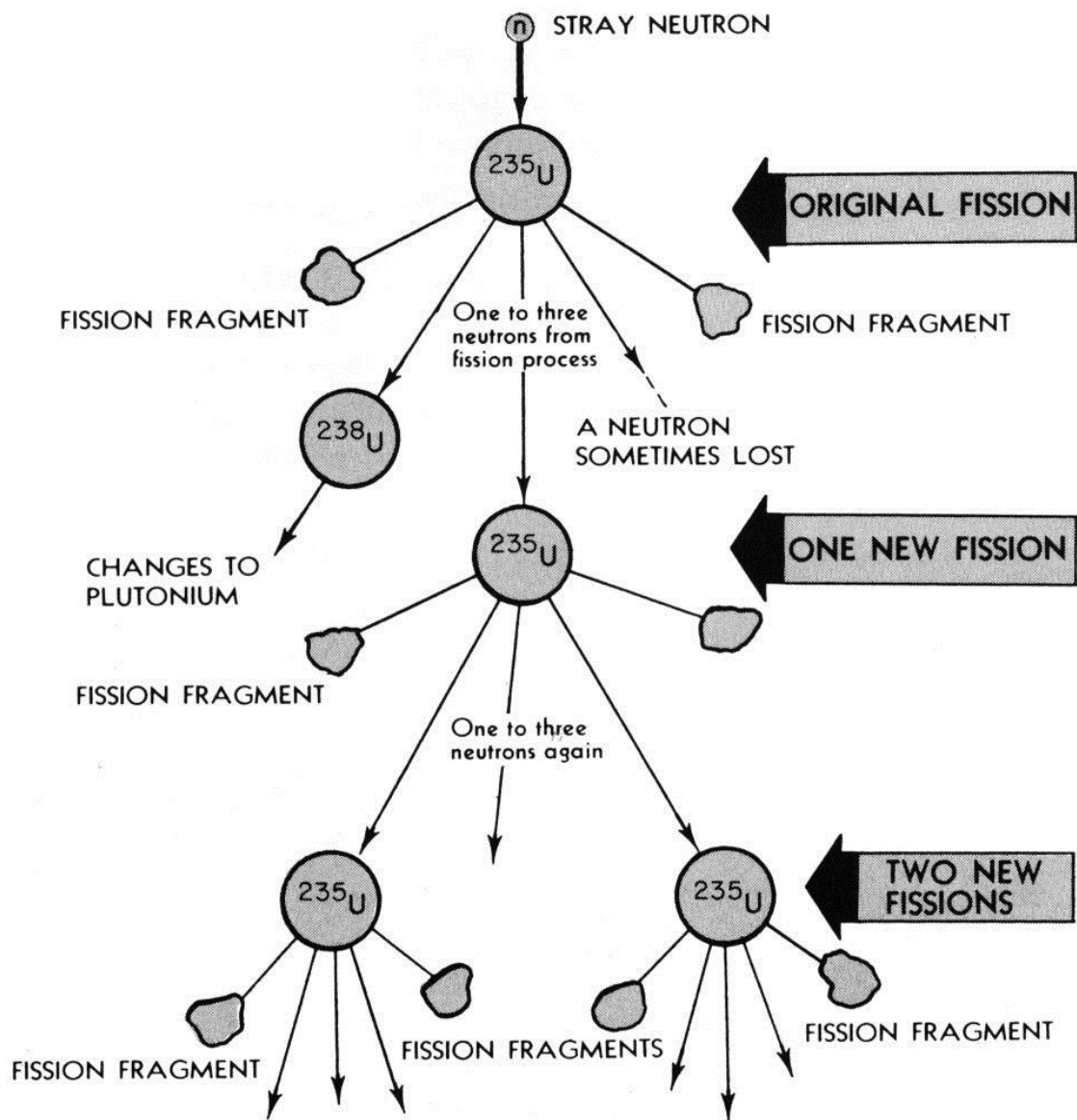


Рисунок 5 На этой диаграмме показано, что происходит в цепной реакции, возникающей в результате деления атомов урана-235.

БЛУЖДАЮЩИЙ НЕЙТРОН

^{235}U

ПЕРВОНАЧАЛЬНОЕ ДЕЛЕНИЕ

ОСКОЛКИ ДЕЛЕНИЯ

От одного до трех нейтронов в процессе деления

ИНОГДА ТЕРЯЕТСЯ НЕЙТРОН

^{238}U

ИЗМЕНЕНИЯ В ПЛУТОНИИ

^{235}U

ОДНО НОВОЕ ДЕЛЕНИЕ

ОСКОЛОК ДЕЛЕНИЯ

Снова от одного до трех нейтронов



ДВА НОВЫХ ДЕЛЕНИЯ

ОСКОЛКИ ДЕЛЕНИЯ

Ядерная бомба Взорвана

Американские ученые, присутствовавшие в тот исторический декабрьский день, были частью огромного сверхсекретного научно-промышленного комплекса, носившего непечатное название "Район Манхэттен". Соединенные Штаты находились в состоянии войны почти год. Неконтролируемая реакция деления дала обещание произвести взрыв невообразимых масштабов. Это обещание вкупе с возможностью того, что вражеские ученые, возможно, приближаются к такой цели, положило начало огромным усилиям союзников.

Манхэттенский проект, как его обычно называли, включал в себя множество “секретных” объектов. На каждой из этих установок в Нью-Йорке, Иллинойсе, Теннесси, Нью-Мексико, Калифорнии и Вашингтоне свои эксперты работали день и ночь, решая сложные проблемы, связанные с разработкой ядерного оружия.

Обычный уран, встречающийся в природе, не подходил для атомной бомбы, поскольку менее одного процента атомов в нем составляют делящийся изотоп ^{235}U .^[3] Поэтому стало необходимым найти какие-либо средства для отделения редкого ^{235}U от большого количества ^{238}U . Химия не смогла бы этого сделать, поскольку эти два изотопа химически идентичны.

Было опробовано несколько методов достижения крупномасштабного разделения. Наиболее успешный и экономичный способ, известный как “газодиффузия”, включает сжатие обычного урана в виде газообразного гексафторида урана в пористом барьере, содержащем миллионы отверстий, каждое из которых меньше двух миллионных долей дюйма. Поскольку молекулы ^{235}U немного легче, чем ^{238}U , они чаще отскакивают от барьера и имеют больше шансов проникнуть внутрь. Таким образом, хотя газ сначала содержит всего 0,7% ^{235}U , процесс сжатия повторяется несколько тысяч раз, и пропорция постепенно увеличивается, пока не будет достигнута необходимая концентрация.

Для этой операции в Ок-Ридже, штат Теннесси, была построена огромная установка с очень большой площадью ограждения, километрами трубопроводов и бесчисленным количеством насосов.

В то же самое время, когда предпринимались огромные усилия по созданию ^{235}U -атомной бомбы, осуществлялся другой проект не меньшей важности по разработке другого вида атомной бомбы. Неопределенность относительно того, возможно ли будет выделить пригодные для использования количества ^{235}U , привела к решению использовать чрезвычайно важное открытие об одном из трансурановых элементов.

К 1941 году Гленн Т. Сиборг, Эдвин М. Макмиллан, Филип Х. Абельсон и другие сотрудники Радиационной лаборатории в Беркли, Калифорния, идентифицировали изотопы двух новых

трансурановых элементов, образовавшихся при бомбардировке ядер ^{238}U нейтронами. Новые элементы были названы нептунием и плутонием в честь планет Нептун и Плутон, которые находятся за Ураном в Солнечной системе.^[4] Было обнаружено, что один изотоп плутония, плутоний-239, образующийся в результате поглощения нейтрона ядром ^{238}U и испускания двух бета-частиц, способен к делению так же, как ^{235}U , и, следовательно, теоретически столь же пригоден для создания бомбы. Поскольку плутоний химически отличается от урана, его огромное преимущество заключалось в том, что его можно было легко концентрировать обычными химическими методами.

Способ производства пригодного для использования количества плутония, элемента, который никогда ранее не обнаруживался на земле, заключается в том, чтобы подвергнуть уран очень интенсивной нейтронной бомбардировке. Самым известным местом, где можно было найти богатый запас нейтронов, было сердце самоподдерживающейся урановой кучи с цепной реакцией. Соответственно, очень большие хранилища, или *реакторы*, были спешно достроены недалеко от реки Колумбия в Хэнфорде, штат Вашингтон, для производства плутония.



Первый взрыв атомной бомбы в Аламагордо, штат Нью-Мексико, в 5:30 утра 16 июля 1945 года.

Предоставлено армией США

16 июля 1945 года плутониевая бомба, тщательно собранная другой группой ученых из “Проекта Y” в Лос-Аламосе, штат Нью-Мексико, была успешно испытана в пустыне Нью-Мехико. Тепло от этого первого искусственного ядерного взрыва полностью испарило высокую стальную башню и расплавilo несколько акров окружающего песка. Вспышка света была самой яркой, которую когда-либо видела земля.

6 августа 1945 года на Хиросиму, Япония, была сброшена 23-У.е. бомба. Три дня спустя плутониевая бомба была сброшена на Нагасаки, Япония. Военные действия закончились 14 августа 1945 года.

Ядерная энергия необходима для будущего

Главным источником огромного количества энергии, ежедневно используемой современной цивилизацией, является ископаемое топливо в виде угля, нефти и природного газа. Концентрированные источники этого топлива, хотя и велики, далеко не неисчерпаемы, и было сказано, что будущие историки могут назвать короткое время, когда они использовались, “инцидентом с ископаемым топливом”.



Эти огни центра Питтсбурга символизируют выработку электроэнергии с помощью атомной энергии в Шиппингпорте, штат Пенсильвания, на месте строительства первой в мире полномасштабной атомной электростанции исключительно для гражданских нужд. Дома и фабрики в районе большого Питтсбурга получают электроэнергию, производимую на заводе и передаваемую через систему Duquesne Light Company. Завод в Шиппингпорте является совместным проектом Westinghouse Electric Corporation, Комиссии по атомной

энергии США и Duquesne Light Company.

Предоставлено Westinghouse Electric Corporation

Следующим важным источником энергии, вероятно, станут ядерные реакторы, в которых контролируемые цепные реакции высвобождают энергию из большого запаса расщепляющихся материалов в мире.[\[5\]](#)

Достижения ядерной энергетики в области приведения в движение судов уже были отмечены. Кроме того, в настоящее время в промышленно развитых странах в разных частях мира ведется масштабное развитие атомных электростанций для производства электроэнергии. Атомная электроэнергетика приближается к тому моменту, когда она станет экономически конкурентоспособной с энергией гидроэлектростанций или тех, которые используют уголь, нефть или газ в качестве топлива. Технологии ядерной энергетики быстро совершенствуются, и в настоящее время широко распространен прогноз, что до конца текущего столетия большинство новых электростанций будут атомными.

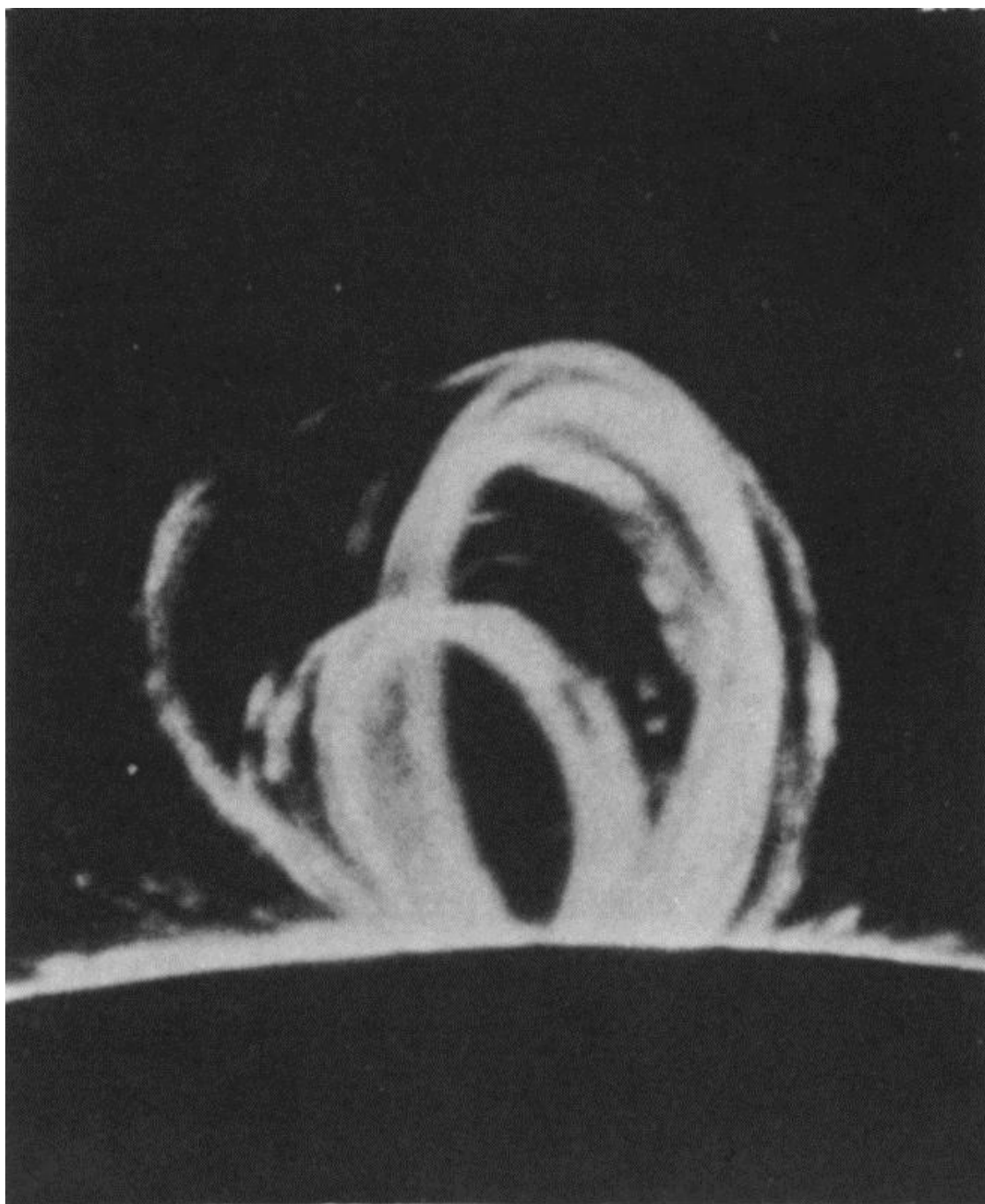
У термоядерного синтеза есть потенциал

Одна из величайших загадок, которую предстоит разгадать физикам, возникла в результате работы геологов. Когда стало ясно, что каменный уголь и другие ископаемые остатки живых существ датируются многими сотнями миллионов лет назад, стало очевидно, что солнце Земли светило с довольно постоянной скоростью в течение чрезвычайно долгого времени.

Как ему это удастся? Каков его источник энергии? Химическая энергия, получаемая при сгорании, и потенциальная гравитационная энергия, получаемая при сжатии, в тысячи раз слишком малы, чтобы солнце могло продолжать светить так долго.

Принцип, проиллюстрированный [рисунком 4](#), предполагает наиболее вероятный источник энергии для Солнца, а также для всех других звезд. Известно, что солнце состоит в основном из водорода и что вблизи своего центра оно имеет температуру около 40 000 000 градусов по Фаренгейту. Несколько видов ядерных реакций, происходящих в атомных дробилках, продемонстрировали, что ядра водорода, если их подпитать энергией при нагревании до очень высокой температуры, действительно могут объединяться или сливаться, образуя ядра гелия.

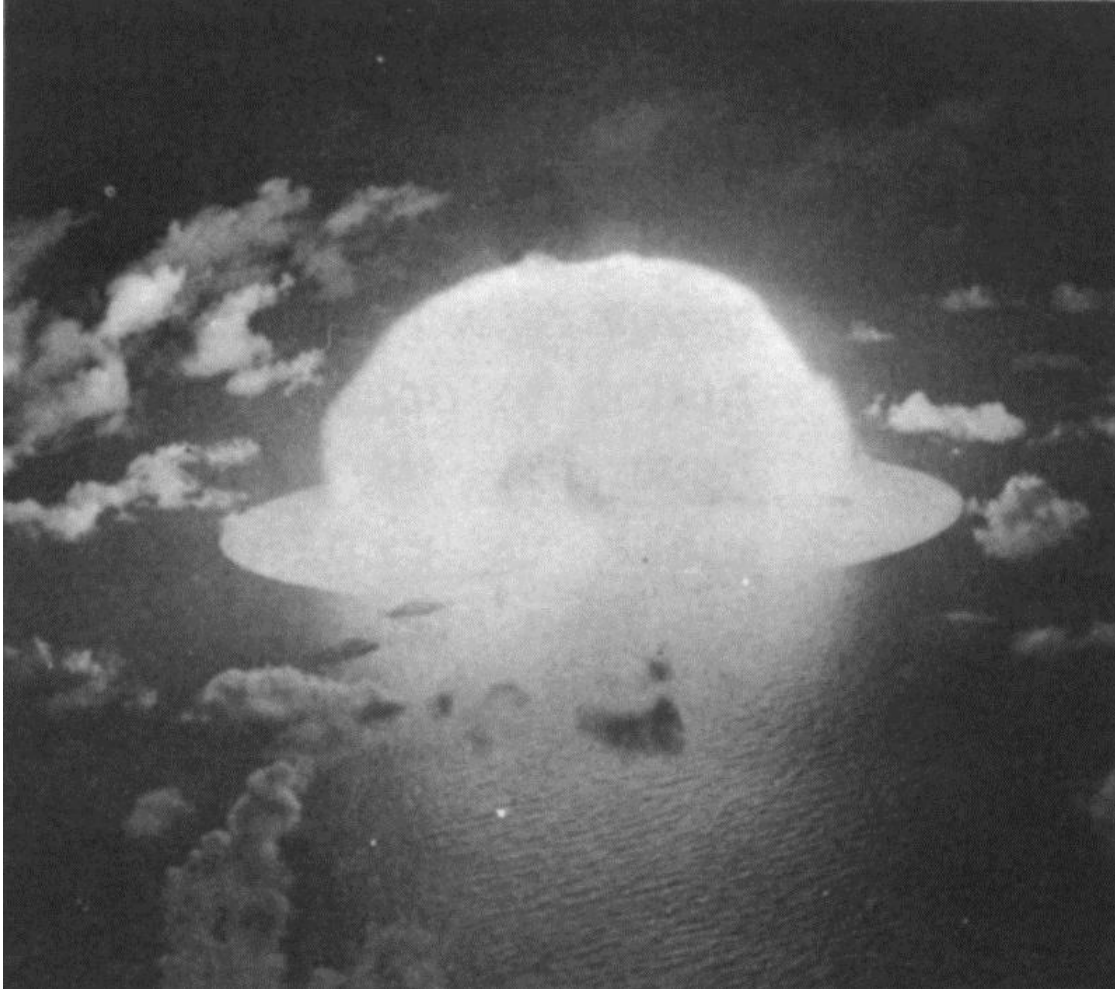
Сопутствующая потеря веса на частицу, показанная на [рисунке 4](#), должна приводить к появлению энергии, достаточной для уравнивания знаменитого уравнения Эйнштейна. Фактически, расчеты американского физика немецкого происхождения Ханса А. Бете и других показывают, что, основываясь на разумных оценках условий внутри солнца, известные ядерные реакции определяют его энергию. Кроме того, расчеты предсказывают, что солнце может продолжать работать на своем нынешнем уровне в течение многих миллиардов лет.



Большие петлевидные протуберанцы на солнце, вызванные локально интенсивным магнитным полем. Проект "Шервуд", американская программа в области управляемого термоядерного синтеза, посвящен исследованию реакций термоядерного синтеза, подобных тем, в результате которых солнце получает свою энергию. Предоставлено обсерваторией Сакраменто-Пик, AFCRL

Поскольку слияние легких ядер происходит при чрезвычайно высоких температурах, события слияния называются *термоядерными реакциями*. Возможность проведения термоядерных реакций на земле в качестве источника энергии, естественно, привлекла большое внимание.

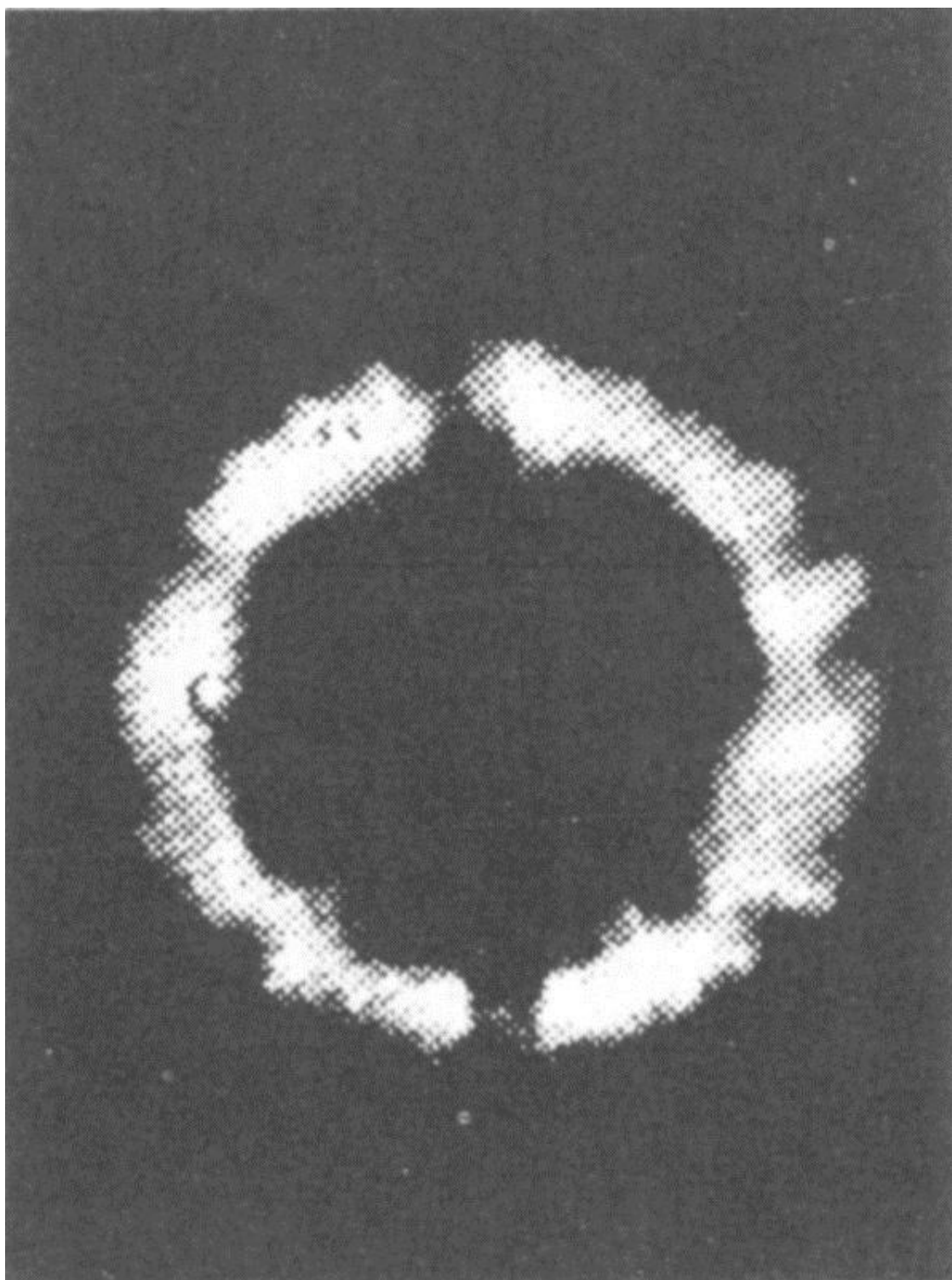
Несмотря на то, что слияние обычных атомов водорода (каждый из которых имеет по одному протону в качестве ядра) поддерживает активность солнца, эта конкретная реакция, по-видимому, протекает слишком медленно, чтобы ее можно было использовать на земле. Однако другие изотопы водорода, называемые дейтерием и тритием, которые содержат один и два нейтрона в своих ядрах соответственно, расплавляются гораздо быстрее и, по-видимому, являются потенциальными земными источниками управляемой термоядерной энергии.



*Ранняя фаза ядерного взрыва на атолле Эниветок во время испытаний 1951 года.
Предоставлено Третьей Объединенной оперативной группой*

Первым крупномасштабным применением термоядерной энергии была так называемая водородная бомба, или “водородная бомба”. На короткое время взрывающаяся ядерная бомба развивает температуру в сотни миллионов градусов по Фаренгейту, достаточно высокую, чтобы вызвать слияние некоторых легких ядер. В водородной бомбе легкие ядра дейтерия и/или трития подвергаются воздействию этой температуры во время такого взрыва деления. Возникающее в результате слияние этих ядер приводит к взрыву в сотни раз более мощному, чем взрыв одного только устройства для деления. В 1952 году Комиссия по атомной энергии испытала такое термоядерное устройство на атолле Эниветок в Тихом океане. Энергия, выделяемая высокоэффективным устройством, произвела взрыв, который полностью разрушил коралловый островок, на котором оно было взорвано.

При таких экстремальных температурах все атомы лишаются электронов; получающаяся смесь ядер и свободных электронов называется *плазмой*. Несколько лабораторий в настоящее время работают над проблемами, связанными с созданием и хранением плазмы. Обычные твердые контейнеры использовать нельзя. При контакте с плазмой они мгновенно испарялись бы и охлаждали плазму ниже температуры, необходимой для осуществления термоядерного синтеза. Однако, к счастью, частицы, из которых состоит плазма, будучи электрически заряженными, реагируют на силы в магнитном поле. Сильное магнитное поле правильной формы оказывает большое ограничивающее давление на плазменное тело в высоковакуумной камере. Таким образом, плазму можно удерживать в небольшом объеме, хорошо удаленном от стенок камеры, окружив камеру подходящими по конструкции большими магнитами или соленоидами для создания “магнитной бутылки”. Кроме того, внезапное увеличение интенсивности поля может привести к сжатию плазмы; это сжатие повышает температуру плазмы почти до той, которая требуется для термоядерного синтеза.



Эта плазма выталкивается наружу внутренним магнитным полем по мере роста неустойчивости на ее внутренней поверхности. Фотография была сделана методом съемки с быстрой выдержкой, позволяющим делать снимки с интервалом от 3 до 5 миллионных долей секунды.

Предоставлено подразделением General Atomic, корпорация General Dynamics

Слияние легких ядер было бы гораздо “более чистым” источником энергии для мирных целей, чем деление тяжелых, потому что “пепел” реакций деления радиоактивен, в то время как “пепел” от термоядерного синтеза (атомы гелия) - нет. Однако, прежде чем станет возможной управляемая термоядерная реакция, необходимо преодолеть большие технические трудности. Плавающий материал должен быть нагрет до температуры более 100 миллионов градусов по Фаренгейту и содержаться достаточно долго, чтобы произошло заметное количество плавления.

Самой большой проблемой, с которой приходится сталкиваться на сегодняшний день, является крайняя нестабильность плазмы и соответствующая трудность поддержания ее надлежащей температуры дольше нескольких миллионных долей секунды. Многие физики сейчас думают, что успешное использование термоядерной энергии произойдет не раньше, чем через много лет. Однако, когда и если это будет достигнуто, дейтерий, присутствующий в океанах земли, будет представлять собой почти неисчерпаемый источник энергии.

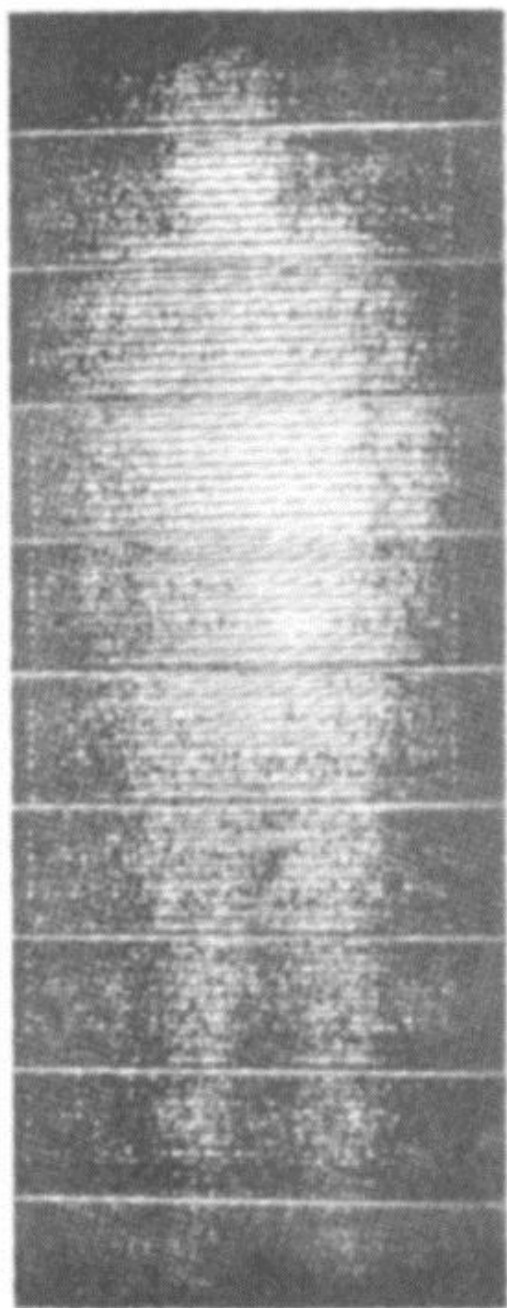
Изотопы имеют множество применений

Способность производить ядерные реакции и контролировать их влияет и, несомненно, будет продолжать влиять на человеческую жизнь двумя выдающимися способами. Один из способов заключается в том, чтобы сделать доступным огромное количество энергии либо в виде взрывов, либо в виде энергии, высвобождаемой в результате контролируемых реакций для использования в мирное время. Другой способ заключается в производстве огромного разнообразия радиоактивных изотопов, сначала в ускорителях частиц (“атомных дробилках”), упомянутых ранее, а теперь в больших количествах в ядерных реакторах.

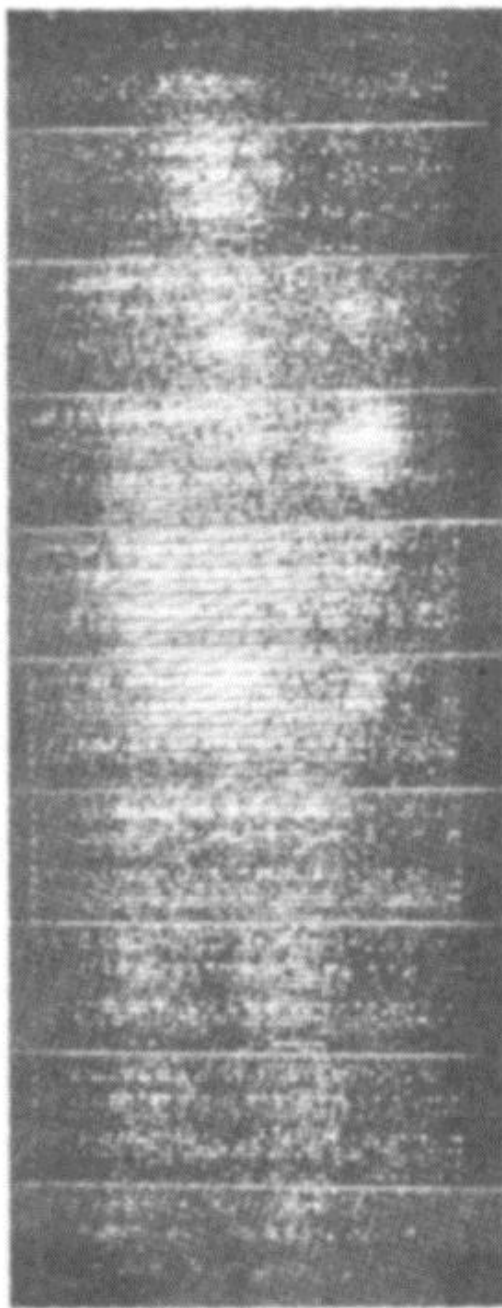
Присутствие радиоактивного изотопа может быть обнаружено с помощью таких приборов, как знакомый счетчик Гейгера; по этой причине изотопы являются прекрасными индикаторами. Эти контрольные атомы, которые, по сути, постоянно кричат “Я здесь”, могут проследить за ходом химического элемента в ходе любой химической реакции. Химики используют этот новый способ маркировки атомов для изучения закономерностей реакций, которые до сих пор были неясны.

Как следствие, повышается способность ученых синтезировать дефицитные химические вещества. Точная роль многочисленных необходимых микроэлементов в росте и метаболизме живых существ, включая людей, изучается с помощью меченых атомов.

Радиоизотопы в действии

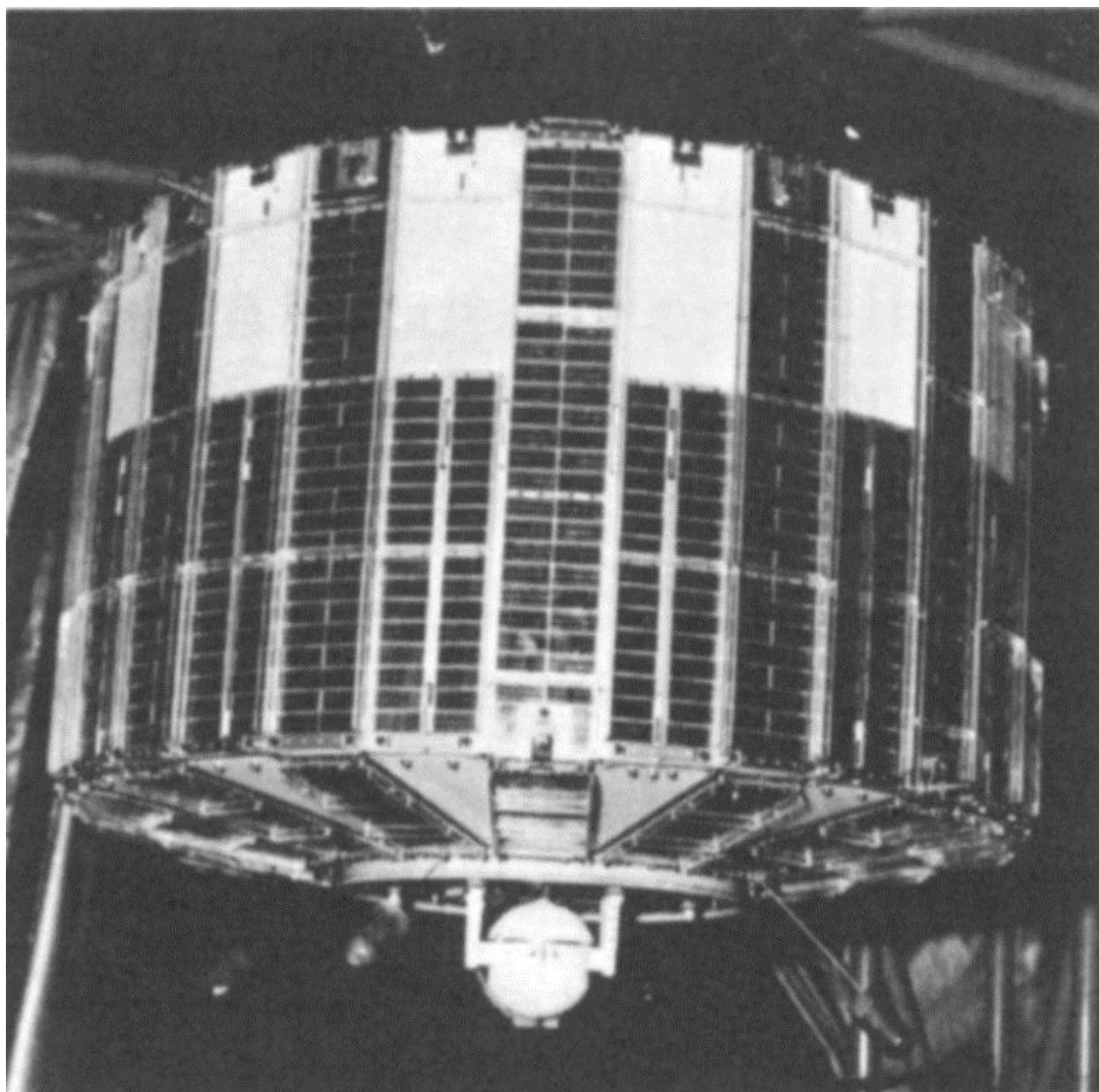


1 HOUR

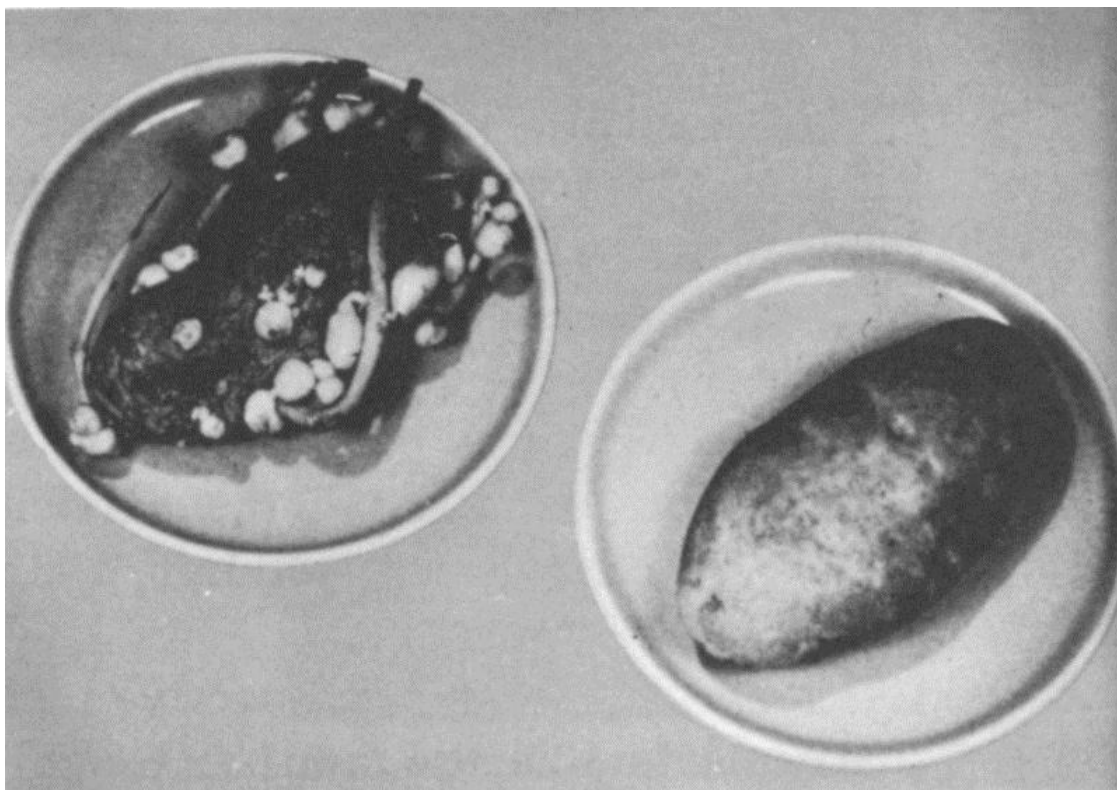


48 HOURS

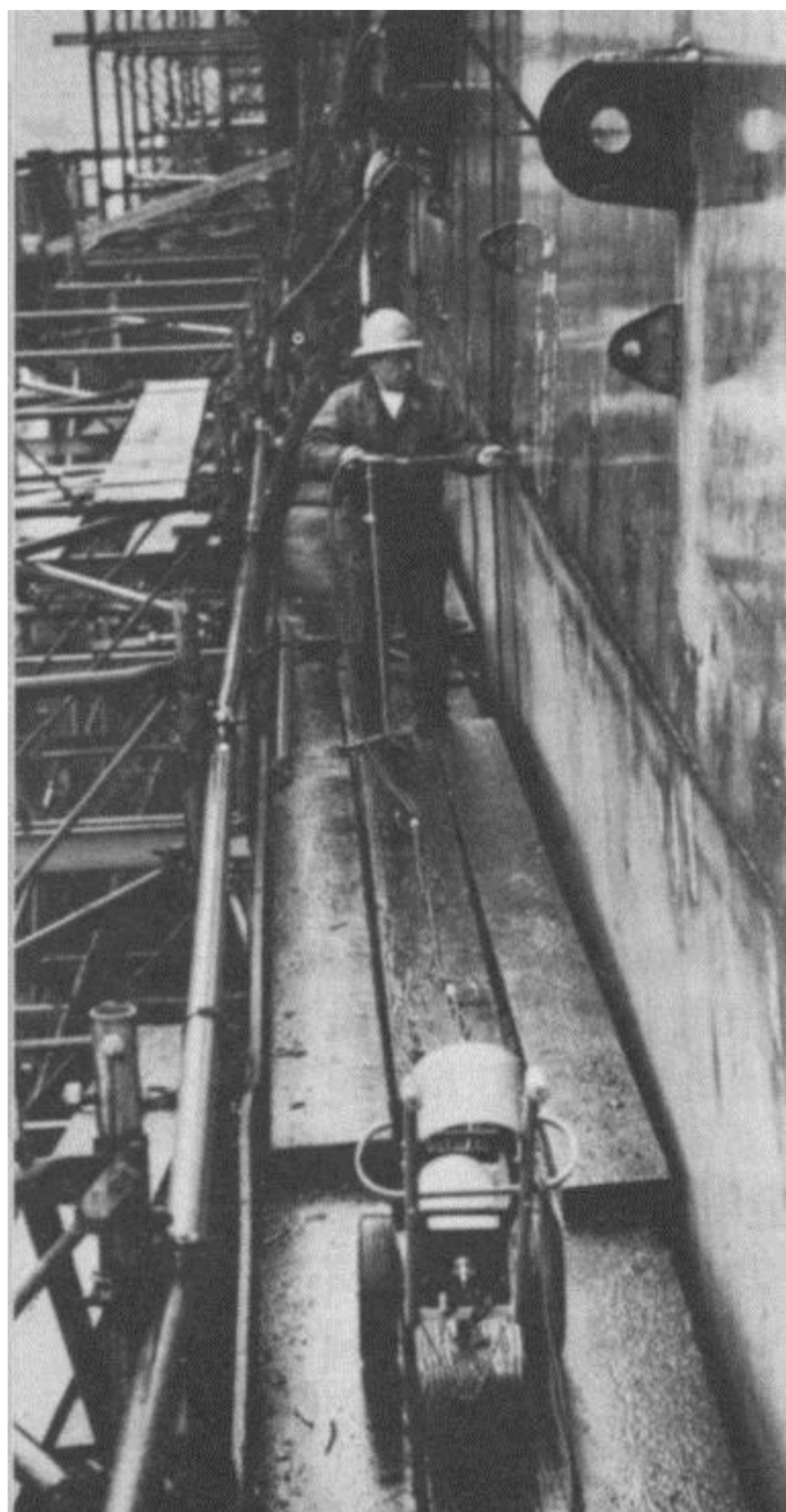
В МЕДИЦИНЕ: Йод-131 выявляет распространение рака щитовидной железы в организме пациента.



В КОСМОСЕ: Плутоний-238 является топливом для атомного генератора, питающего этот ТРАНЗИТНЫЙ спутник.
Предоставлено Компанией Martin



В ПИЩЕВОЙ КОНСЕРВАЦИИ: *Картофель хранится в течение 18 месяцев при температуре 47 °F. Картофель справа был облучен, а слева - нет.*



В ПРОМЫШЛЕННОСТИ: Радиоактивный иридий использовался для проверки корпуса авианосца Independence.

Предоставлено компанией Technical Operations, Inc.

В качестве источников излучения радиоактивные изотопы часто заменяют более дорогие и менее удобные источники, такие как радий и рентгеновские аппараты. Новые источники значительно ускорили медицинское лечение пораженных тканей. В промышленности нашли широкое применение источники излучения. Они используются, например, для измерения толщины и получения рентгенограмм для проверки качества крупных отливок. Стерилизация и консервирование пищевых продуктов - еще одно многообещающее применение недорогих радиоактивных источников.

В качестве контролируемого средства индуцирования генетических мутаций радиоактивные изотопы ускоряют процесс отбора и создания высококачественных сельскохозяйственных продуктов. Практически в каждом сельскохозяйственном исследовательском центре мира реализуется один или несколько проектов, связанных с использованием изотопов.

Также были сконструированы небольшие устройства, которые вырабатывают электричество за счет тепла, выделяемого при распаде радиоизотопов. Такие устройства использовались для питания приборов удаленной беспилотной метеостанции, навигационного буя, маяка, подводного навигационного маяка и космических спутников. Для этих изотопных генераторов энергии предусмотрено множество дополнительных применений.

Комиссия по атомной энергии

После окончания Второй мировой войны разгорелся острый спор о том, следует ли продолжать развитие атомной энергетики в Соединенных Штатах под военным контролем или передать ее под гражданский контроль. Сторонники гражданского контроля одержали победу, и в соответствии с Законом об атомной энергии 1946 года была учреждена гражданская комиссия по атомной энергии. В соответствии с этим Законом, в который были внесены поправки в 1954 году, АЕС производит ядерное оружие для вооруженных сил; производит расщепляющиеся материалы как для военных, так и для гражданских целей; поощряет исследования и разработки в области фундаментальных наук, лежащих в основе атомной энергии, и в таких областях применения, как энергетика, производство и использование радиоизотопов; регулирует деятельность частных организаций, использующих атомную энергию; и распространяет информацию об атомной энергии. (Этот буклет представляет собой небольшой пример; большая часть распространяемой информации гораздо более подробная и техническая.)



Президент Трумэн подписывает законопроект о создании Комиссии США по атомной энергии 1 августа 1946 года. Позади президента слева направо: сенаторы Том Коннелли, Юджин Д. Милликин, Эдвин К. Джонсон, Томас К. Харт, Брайен Макмахон, Уоррен Р. Остин и Ричард Б. Рассел.

Предоставлено United Press International

Почти вся деятельность АЕС по производству материалов, а также научно-исследовательские разработки осуществляются по контракту с другими организациями. Американская промышленность, университеты и исследовательские организации также широко занимаются собственной деятельностью в области атомной энергетики, подчиняясь только таким правительственным постановлениям, которые необходимы для защиты национальной безопасности и общественного здоровья. Например, крупнейшие атомные электростанции, действующие в настоящее время в этой стране, находятся в частной собственности, как и многочисленные небольшие атомные реакторы, используемые для исследований. В конце 1962 года около 7000 фирм, учреждений или частных лиц в Соединенных Штатах имели федеральные лицензии или лицензии штата, дающие им разрешение на использование радиоизотопов. Число лиц, занятых в атомной энергетике в Соединенных Штатах, оценивается примерно в 140 000 человек, из которых только 8000 работают на федеральное правительство.

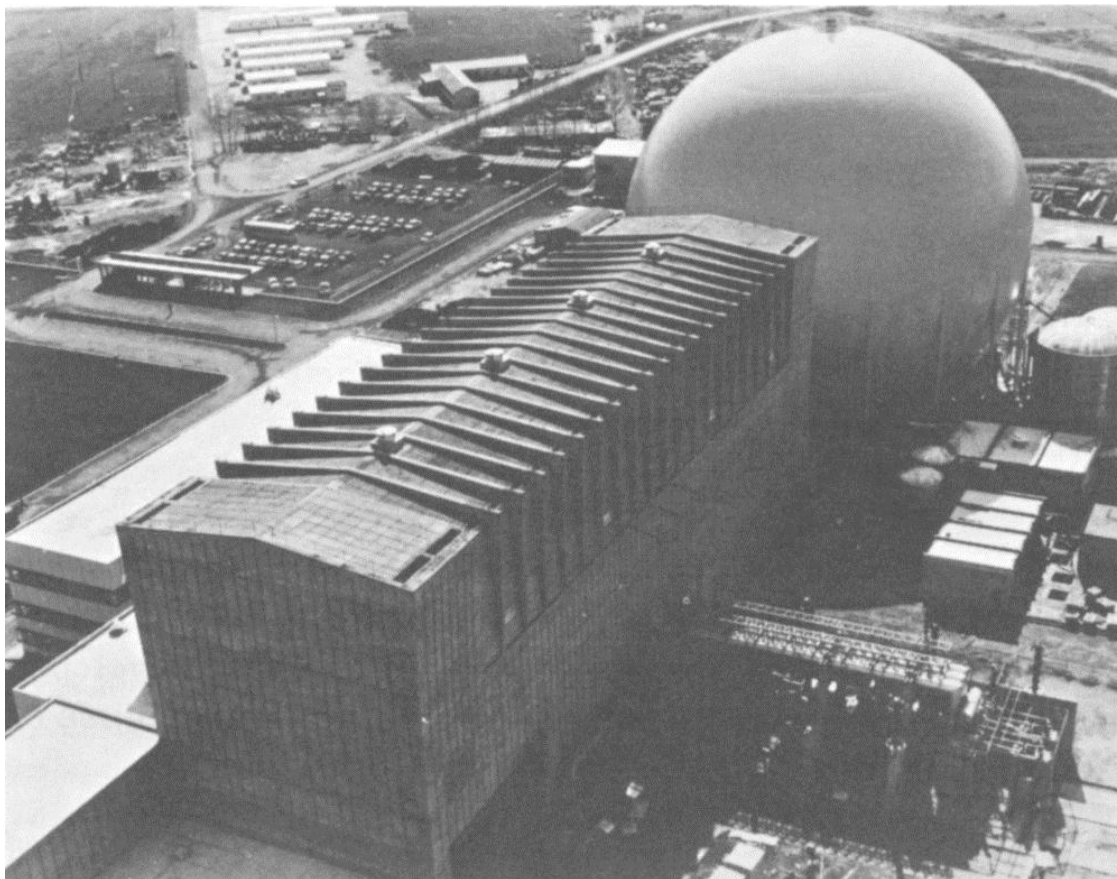
На пути к международному Атому

В декабре 1953 года президент Эйзенхауэр в памятном обращении к Генеральной Ассамблее Организации Объединенных Наций предложил создать под эгидой Организации Объединенных Наций Международное агентство по атомной энергии “для служения мирным целям человечества”. Это предложение захватило воображение людей во всем мире, и вскоре

начались переговоры относительно цели, структуры, масштабов и программы такой организации. В октябре 1956 года конференция Организации Объединенных Наций с участием 81 государства единогласно приняла устав агентства, которое появилось год спустя со штаб-квартирой в Вене, Австрия. К концу 1962 года в МАГАТЭ насчитывалось 78 стран-членов. Его наиболее важной работой было оказание помощи некоторым менее развитым странам мира в начале программ мирного использования атомной энергии.



8 декабря 1953 года президент Дуайт Д. Эйзенхауэр предложил Генеральной Ассамблее Организации Объединенных Наций создать Международное агентство по атомной энергии, через которое все страны могли бы обмениваться знаниями и материалами для развития мирного использования атомной энергии на благо всего человечества. На президентском возвышении слева направо сидят Генеральный секретарь ООН г-н Даг Хаммаршельд, Председатель Генеральной Ассамблеи г-жа Виджая Лакшми Пандит из Индии и исполнительный помощник Генерального секретаря г-н Эндрю Кордые.
Предоставлено Организацией Объединенных Наций



Этот двухтактный реактор на кипящей воде мощностью 150 000 киловатт, расположенный в 35 милях к северу от Неаполя, Италия, на реке Гарильяно, был построен компанией General Electric в рамках Совместной программы США и Евратома. Он достиг критической точки 5 июня 1963 года.

Еще до того, как международное агентство стало свершившимся фактом, Соединенные Штаты пытались самостоятельно реализовать дух предложения президента Эйзенхауэра. В 1955 году она инициировала Программу "Атом в обмен на мир", в рамках которой Соединенные Штаты заключили двусторонние соглашения примерно с 40 странами об обмене информацией о мирном использовании атомной энергии и в рамках которой Соединенные Штаты помогли другим странам приобрести ядерные реакторы и материалы для мирного использования.

Следует также упомянуть Международные конференции по мирному использованию атомной энергии, которые Организация Объединенных Наций проводила в Женеве, Швейцария, в 1955, 1958 и 1964 годах. Конференция 1955 года была особенно примечательна тем, что она ознаменовала собой первую всемирную встречу ученых для обсуждения атомной энергии. На этой встрече и после нее была обнародована большая часть информации, ранее державшейся в секрете.

Рекомендуемые ссылки

Книги

Атомная энергия, Ирен Д. Яворски и Александр Джозеф, Harcourt, Brace and World, Inc., Нью-Йорк, 10017, 1961, 218 стр., 4,95 долл.

Atompower, Джозеф М. Дюкерт, Coward-McCann, Inc., Нью-Йорк, 10016, 1962, 127 стр., \$ 3,50.

Атомы сегодня и завтра (исправленное издание), Маргарет О. Хайд, Книжная компания "Макгроу-Хилл", Нью-Йорк, 10036, 1966, 160 стр., 3,25 доллара.

Основные законы материи (пересмотренное издание), Харри С. В. Мэсси и Артур Р. Куинтон, Herald Books, Бронксвилл, Нью-Йорк, 10710, 1965, 178 стр., 3,75 долл.

Строительные блоки Вселенной (исправленное издание), Айзек Азимов, Абеляр-Шуман, Лтд., Нью-Йорк, 10019, 1961, 380 стр., 3,50 долл. (твердый переплет); 2,70 долл. (мягкая обложка) от E. M. Hale and Company, О-Клэр, Висконсин, 54701.

Элементы Вселенной, Гленн Т. Сиборг и Эванс Г. Валенс, Э. П. Даттон и компания, Inc., Нью-Йорк, 10003, 1958, 253 стр., 4,95 долл. (твердый переплет); 2,15 долл. (мягкая обложка).

Внутри Атома (исправленное издание), Айзек Азимов, Абеляр-Шуман, Лтд., Нью-Йорк, 10019, 1966, 197 стр., 4,00 долл.

Представляем "Атом", Рослин Лидс, издательство "Харпер энд Роу", Нью-Йорк, 10016, 1967, 224 стр., \$ 3,95.

Использование атомной энергии в мирное время (исправленное издание), Мартин Манн, издательство Viking Press, Нью-Йорк, 10022, 1961, 191 стр., 5,00 долл. (твердый переплет); 1,65 долл. (мягкая обложка).

"Полезный атом", Уильям Р. Андерсон и Вернон Пизер, Всемирная издательская компания, Кливленд, Огайо, 44102, 1966, 185 стр., \$ 5,75.

Тайна таинственных лучей: открытие ядерной энергии, Вивиан Грей, издательство Basic Books, Inc., Нью-Йорк, 10016, 1966, 120 стр., \$ 3,95.

Сердце атома: структура атомного ядра, Бернард Л. Коэн, Doubleday and Company, Inc., Нью-Йорк, 10017, 1967, 120 стр., 3,95 долл. (твердый переплет); 1,25 долл. (мягкая обложка).

Вопрошающие: физики и квантовая теория, Барбара Л. Клайн, компания Томаса Ю. Кроуэлла, Нью-Йорк, 10003, 1965, 274 стр., \$ 5,00.

"Атом и его ядро", Джордж Гамов, Prentice-Hall, Inc., Энглвуд-Клиффс, Нью-Джерси, 07632, 1961, 153 стр., 1,95 доллара.

Настольная книга по атомной энергии, Джон Ф. Хогертон, издательство Reinhold Publishing Corporation, Нью-Йорк, 10022, 1963, 673 стр., \$ 11,00.

Энциклопедия атомной энергии в науках о жизни, Чарльз У. Шиллинг (ред.), W. B. Saunders Company, Филадельфия, Пенсильвания, 19105, 1964, 474 стр., \$ 10.50.

Атомы для мира (исправленное издание), Дэвид О. Вудбери, Додд, Мид и компания, Нью-Йорк, 10016, 1965, 275 стр., 4,50 долл.

Манхэттенский проект, Стефан Груфф, Литтл, Браун и компания, Бостон, Массачусетс 02106, 1967, 372 стр., \$ 6.95.

Новый мир, 1939/1946, Том 1 —История Комиссии по атомной энергии США, Ричард Г. Хьюлетт и Оскар Э. Андерсон-младший, Издательство Пенсильванского государственного университета, Университи Парк, Пенсильвания 16802, 1962, 766 стр., \$ 5.50.

Справочник по атомной энергии (третье издание), Сэмюэл Гласстоун, D. Van Nostrand Company, Inc., Принстон, Нью-Джерси, 08540, 1967, 883 стр., \$ 9.25.

Мир атома, 2 тома, Генри А. Борс и Ллойд Матц (ред.), издательство Basic Books, Inc., Нью-Йорк, 10016, 1966, 1873 стр., 35,00 долларов.

Кинофильмы

Доступно для бесплатного скачивания в Фильмотеке Штаб-квартиры АЕС, Отделе общественной информации Комиссии США по атомной энергии, Вашингтон, Округ Колумбия, и в других фильмотеках АЕС.

Каждый из следующих фильмов объясняет структуру атома, деление и цепную реакцию. Дополнительное содержание фильма приведено ниже.

"А" означает "Атом", 15 минут, звук, цвет, 1964. Произведено компанией "Дженерал электрик". В этом фильме рассказывается о природных и искусственно полученных элементах, стабильных и нестабильных атомах, принципах и применении ядерных реакторов, а также о пользе атомной радиации для биологии, медицины, промышленности и сельского хозяйства. (Уровень: от начальной до средней школы.)

Атомная энергия, 10 минут, звуковой, черно-белый, 1950. Продюсер: Encyclopedia Britannica Films, Inc. Фильм объясняет ядерный синтез и показывает, как посредством фотосинтеза солнечная энергия накапливается на земле и высвобождается при сгорании. (Уровень: от среднего до старшей школы.)

Управление атомной энергией, 13 с половиной минут, звук, цвет, 1961. Производство United World Films, Inc. В этом фильме дается краткое объяснение следующего: радиоактивные атомы, измерение радиоактивности, ядерные реакторы, а также производство и применение радиоизотопов в биологии, медицине, промышленности, сельском хозяйстве и научных исследованиях. (Уровень: с 5-го по 8-й классы.)

Знакомство с атомами и ядерной энергией, 11 минут, звук, цвет, 1963. Производство Coronet Instructional Films. В этом фильме обсуждается ядерный синтез на солнце и, очень кратко, использование ядерной энергии. (Уровень: с 4 по 9 классы.)

Атомная физика, 90 минут, звуковой, черно-белый, 1948. Продюсер J. arthur Rank Organization, Inc. В этом фильме подробно обсуждается история и развитие атомной энергетики с акцентом на ядерную физику. Базовая атомная теория Дальтона, ранние эксперименты Фарадея по электролизу и периодическая таблица Менделеева, исследование катодных лучей, открытие

электрона, то, как была установлена природа положительных лучей, и открытие рентгеновских лучей являются одними из основных исторических событий. Представлено объяснение работы Жолио-Кюри и Чедвика по открытию нейтрона и расщеплению атома лития Кокрофтом и Уолтоном. Эйнштейн рассказывает, как их работа иллюстрирует его теорию эквивалентности массы и энергии. (Уровень: средняя школа.)

Разгадка атома, 20 минут, звуковой, черно-белый, 1950. Продюсер United World Films, Inc. Этот фильм объясняет свойства альфа-, бета- и гамма-лучей, циклотронов и вклад различных ученых. (Уровень: младшая и старшая школа.)

Эта серия полутехнических лекционных фильмов “Понимание атома” предназначена для включения в курс химии или физики для старших классов средней школы или может быть использована в качестве вводного пособия по ядерной науке на уровне колледжа. Все фильмы имеют звук и представлены в черно-белом формате.

Альфа, бета и гамма, 44 минуты, 1962.

Излучение и материя, 44 минуты, 1962.

Обнаружение излучения методом ионизации, 30 минут, 1962.

Обнаружение излучения с помощью сцинтилляции, 30 минут, 1963 год.

Свойства излучения, 30 минут, 1962.

Ядерные реакции, 29 с половиной минут, 1963.

Радиологическая безопасность, 30 минут, 1963.

СНОСКИ

[1]Для получения дополнительной информации об этих устройствах см. *Ускорители*, сопутствующий буклет из серии "Понимание атома".

[2]Для получения дополнительной информации см. *"Синтетические трансурановые элементы"*, еще одну брошюру из этой серии.

[3]Обозначение ^{235}U - это новый формат, который сейчас используется на международном уровне, для обозначения более знакомого стиля, u^{235} , для обозначения изотопов.

[4]Подробнее о плутонии см. *Плутоний*, сопутствующий буклет из этой серии.

[5]Для получения дополнительной информации о реакторах см. *Ядерные реакторы*, еще одну брошюру из этой серии.

Примечания переписчика

- Молча исправил несколько опечаток.
- Сохранена информация о публикации из печатного издания: эта электронная книга находится в общественном достоянии в стране публикации.
- Только в текстовых версиях текст, выделенный курсивом, разделен `_underscores_`.